



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

**Automatización del Invernadero y el Laboratorio
de Operaciones Unitarias de la UVG.**

Megaproyecto presentado por José Miguel Juárez Noriega y Otto Armando Girón
González para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Electrónica

Guatemala
2008

**Automatización del Invernadero y el Laboratorio
de Operaciones Unitarias de la UVG.**



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Automatización del Invernadero y el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.

Megaproyecto presentado por José Miguel Juárez Noriega y Otto Armando Girón
González para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Electrónica

Guatemala
2008

Vo. Bo.:

(f) _____
MSc. Carlos Esquit

Tribunal:

(f) _____
MSc. Carlos Esquit

(f) _____
Inga. Marie Destarac

(f) _____
Ing. Gamaliel Zambrano

Fecha de aprobación: 24 de noviembre de 2008

PREFACIO

Este trabajo tiene por objetivo la automatización para el desarrollo del invernadero y el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Agradecimientos a Dios y a nuestros padres y familiares. También a todas las personas que colaboraron y que dieron su apoyo para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	v
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvii
Primera parte.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	5
A. Objetivos generales.....	5
B. Objetivos específicos.....	5
III. MARCO TEÓRICO.....	7
A. Invernaderos.....	7
B. Atlas climatológico de la República de Guatemala.....	10
C. Sistemas.....	11
1. Sistema Mist.....	11
2. Sistema de riego por goteo.....	12
3. Sistema de ventilación.....	13
D. Terminología biológica.....	14
E. ¿Por qué implementar bioseguridad en la entrada del invernadero?.....	14
F. Microcontroladores.....	15
G. Dispositivos de entrada y salida.....	15
1. Teclado matricial.....	15
2. Pantalla de cristal liquido.....	16
3. Chapa eléctrica.....	17
4. Recibidor eléctrico.....	17
IV. DELIMITACIÓN DEL TEMA.....	18
V. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19

A. MÓDULO DE ACTUADORES	20
1. Funcionamiento del sistema.....	20
a. Capa de aplicación.....	21
b. Capa de microcontrolador.....	23
2. Implementación de los sistemas.....	24
a. Sistema Mist.....	24
b. Sistema de ventilación.....	29
c. Sistema de riego por goteo.....	31
B. PROTOCOLO	33
C. MÓDULO DE INGRESO.....	34
1. Pasos en el diseño del módulo de ingreso.	34
2. Selección de componentes.....	35
a. Selección del microcontrolador.....	35
b. Selección de los dispositivos de entrada y salida.....	35
c. Selección del sistema de apertura de la puerta.....	36
3. Diseño de la clave digital.....	36
4. Descripción de los modos de operación.....	37
5. Funcionamiento deseado.....	37
a. Funcionamiento para el usuario.....	37
b. Funcionamiento para el administrador.....	38
6. Programa en lenguaje de mikroBasic.....	38
7. Funcionamiento para los usuarios.....	39
8. Funcionamiento para el administrador.....	39
a. Submenú del administrador.....	40
b. Funcionamiento con el teclado matricial.....	40
9. Elaboración del circuito impreso.....	41
VI. RESULTADOS	42
A. Resultados Módulo de actuadores	42
1. Infraestructura del sistema Mist.....	42
2. Resultados de capas.....	49
3. Variación de parámetros dentro del invernadero	54

B. Resultados módulo de ingreso	57
VII. DISCUSIÓN	61
A. Módulo de actuadores	61
B. Módulo de ingreso	63
Segunda Parte	65
I. INTRODUCCIÓN.....	65
II. OBJETIVOS	66
A. Objetivos generales.....	66
B. Objetivos específicos	66
III. MARCO TEÓRICO.....	67
A. Torre de absorción.	67
B. Principios de transferencia de masa	68
C. Válvulas	69
D. Transductores.....	69
IV. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	70
V. DISEÑO EXPERIMENTAL	71
A. Herramientas de trabajo	71
B. Requerimientos del módulo.....	72
C. Selección de componentes.....	74
1. Selección del microcontrolador.....	74
2. Dispositivos de entrada y salida.....	75
a. Válvulas.....	75
b. Sensor de presión.....	78
c. Sensor de temperatura.....	80
d. Sensor de humedad.....	81
e. Circuito para la bomba de agua.....	83
f. Conexión serial.	84
g. Elaboración del circuito impreso.	84
D. Programa en lenguaje de mikroBasic	85
1. Funcionamiento.	86
a. Leer datos de los sensores.....	86

b. Recibir datos del computador.....	87
c. Calibrar datos.....	87
d. Enviar datos.....	87
e. Control.....	87
2. Detenido de emergencia.....	87
3. Protocolo interno.....	87
4. Protocolo con SitePlayer.....	89
5. Reiniciar el microcontrolador.....	90
E. Programa en lenguaje de LabView.....	90
1. Control por parte del usuario.....	91
a. Control de las válvulas.....	91
b. Control sobre la bomba de agua.....	92
c. Toma de datos.....	92
d. Botones de opciones variadas.....	93
2. Retroalimentación al usuario.....	95
a. Imagen de la torre de absorción.....	95
b. Indicador de humedad.....	95
c. Indicadores de temperatura.....	95
d. Indicador del diferencial de presión.....	96
e. Indicadores de flujo.....	96
f. Gráfica.....	97
g. Retroalimentación del microcontrolador.....	97
3. Ayuda al usuario.....	98
F. Diseño de pruebas.....	98
1. Flujo de gas.....	98
2. Flujo de agua.....	99
3. Sensores de presión.....	99
a. Compresor de aire.....	99
b. Torre de absorción.....	100
VI. RESULTADOS.....	101
A. Pruebas del flujo de aire.....	101

B. Pruebas del flujo de agua.....	103
C. Pruebas sensores de presión	104
1. Prueba con compresor de aire.	104
2. Pruebas en la torre de absorción.....	107
D. Circuito impreso	108
E. Instalación de válvulas y sensores	109
F. Instalación de fuente de poder y panel de control.....	110
VII. DISCUSIÓN	112
Tercera Parte	117
I. CONCLUSIONES	117
II. RECOMENDACIONES	119
III. BIBLIOGRAFÍA	121
IV. APÉNDICES	124
XIX. GLOSARIO.....	127

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Características de la válvula solenoide	26
2. Características del extractor de aire	30
3. Empaquetado general para transmisión de información.....	33
4. Trama de envío/recepción.....	33
5. Muestras de temperatura del invernadero medidas cada dos minutos	55
6. Muestras de humedad relativa del invernadero medidas cada dos minutos.....	56
7. Función de pines de la válvula.....	76
8. Código de colores del cable para el conector DB-9.....	76
9. Orden de conexión con el RJ-45	77
10. Voltajes obtenidos según el %RH	82
11. Valores comparativos del porcentaje de apertura vrs. el flujo.....	102
12. Valores de flujo según el porcentaje de apertura de la válvula con entrada de flujo máximo de agua	103
13. Valores de voltaje respecto a la presión	104
14. Valores teóricos de voltaje para la presión	106
15. Resultados con los sensores de presión en la torre de absorción	107

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de los módulos de megaproyecto	4
2. Vista exterior de un invernadero casero	7
3. Vista exterior de invernadero industrial	8
4. Interior de un invernadero en la ciudad de Navarra, España	10
5. Isotermas de temperatura promedio anual, en grados Celsius, de regiones de Guatemala	10
6. Niveles de humedad relativa promedio anual, de regiones de Guatemala	11
7. Nebulizador de alta presión	12
8. Teclado Matricial	16
9. Pantalla LCD	16
10. Chapa eléctrica	17
11. Recibidor eléctrico	17
12. Diagrama de los módulos de Megaproyecto en el Invernadero	19
13. Vista superior del invernadero (diseño en AUTOCAD)	20
14. Diagrama general de las capas del módulo actuadores	21
15. Diagrama general de la capa de aplicación	21
16. Diagrama de bloques del sistema Mist (capa de aplicación)	22
17. Diagrama de bloques del sistema de Ventilación (capa de aplicación)	23
18. Macetas dentro del invernadero	24
19. Diseño del sistema de tubería para el sistema Mist	25
20. Pila del invernadero	26
21. Válvula solenoide utilizada en el sistema Mist y de riego por goteo	26
22. Diagrama de bloques del circuito de control	27
23. Circuito de control de sistema Mist	28
24. Funcionamiento del circuito de relé	28
25. Diagrama de bloques del sistema Mist	29
26. Extractor de aire del invernadero	30

27. Circuito de control del extractor de aire	31
28. Diagrama de bloques del sistema de ventilación	31
29. Diagrama de bloques del sistema de riego por goteo para el invernadero	32
30. Teclado Matricial de 4 x 4	36
31. Pantalla LCD de 2x16	36
32. Circuito para activar el recibidor eléctrico	37
33. Diagrama de flujo del funcionamiento del programa	39
34. Trazado realizado en Trax Maker	41
35. Tubería de ramas auxiliares	43
36. Adaptación de la válvula solenoide	44
37. Rama principal elevada junto a la tubería de la estructura de cableado de la red de sensores	44
38. Prueba de fugas a una rama auxiliar	45
39. Vista lateral de las ramas auxiliares (macetas grandes) elevadas	46
40. Vista frontal de rama auxiliar de maceta grande	47
41. Vista de perspectiva de rama auxiliar de maceta grande	47
42. Vista de tres ramas auxiliares	48
43. Vista frontal de dos ramas auxiliares	48
44. Aplicación del Módulo actuadores	49
45. Diagrama de bloques del control de Sistema Mist (capa Microcontrolador)	50
46. Diagrama de bloques del control de Sistema de ventilación (capa Microcontrolador)	52
47. Sensor digital VWR de humedad relativa y temperatura	54
48. Gráfica de Temperatura de los datos de la tabla 8	55
49. Gráfica de Humedad Relativa de los datos de la tabla 9	56
50. Gráfica de la Humedad Relativa vrs Temperatura	57
51. Pantalla LCD: "Insert code"	57
52. Pantalla LCD: "Acces Granted"	58
53. Pantalla LCD: "Invalid code"	58
54. Pantalla LCD: "Insert 5 digits whit the key pad"	58
55. Pantalla LCD: "Change code # 1"	58

56. Pantalla LCD: “Erase all codes”	58
57. Pantalla LCD: “Master Key”	59
58. Pantalla LCD: “Insert new code”	59
59. Circuito impreso	59
60. Recibidor electrico instalado en el invernadero	60
61. Clave digital	60
62. Torre de absorción (a) vista general (b) entradas y salidas de la torre	67
63. Interface entre la fase gaseosa y líquida	68
64. Diagrama de los módulos de Megaproyecto en el Laboratorio de Operaciones Unitarias	72
65. Ubicación de los componentes	73
66. Pines del PIC18F2525	75
67. Forma de colocación de los pines a) DB-9 macho y b) DB-9 hembra	75
68. Pines del RJ-45	77
69. Configuración del amplificador operacional	78
70. Circuito del sensor de presión	79
71. Circuito para el sensor de presión	79
72. Gráfica teórica de Grados Centígrados vrs. Voltaje	80
73. Circuito para el sensor de temperatura	81
74. Curva característica del sensor de humedad	81
75. Zona recomendada de operación	82
76. Circuito para el sensor de humedad	82
77. Diagrama interno de la optocopla	83
78. Circuito para prender la bomba de agua	84
79. Circuito de conexión serial entre computadora y microcontrolador	84
80. Circuito impreso elaborado en TraxMaker	85
81. Diagrama de flujo del programa del microcontrolador	86
82. Trama a enviar	88
83. Trama a recibir	88
84. Trama para el protocolo SitePlayer	89
85. Trama de error para el protocolo SitePlayer	89

86. Diagrama de flujo del programa del computador	90
87. Presentación del programa	91
88. Barras para el control de las válvulas	92
89. Botón para prender o apagar la bomba de agua	92
90. Botones para la toma de datos	93
91. Botones para las opciones	93
92. Mensaje mostrado al presionar Help	93
93. Gráfica mostrada al presionar Graf	94
94. Mensaje mostrado al presionar Info	94
95. Indicador del porcentaje de humedad	95
96. Indicadores de temperatura	96
97. Indicador del diferencial de presión	96
98. Indicadores de flujo	97
99. Gráfica del diferencial de presión y porcentaje de humedad	97
100. Indicadores del estado de las válvulas	98
101. Indicador del estado de la bomba de agua	98
102. Orden del sistema para la prueba del flujo de gas	99
103. Orden del sistema para la prueba del flujo de agua	99
104. Tren de pulsos para el movimiento de las válvulas	101
105. Gráfica comparativa del porcentaje de apertura vrs. el flujo	103
106. Gráfica de flujo vrs. el porcentaje de apertura de la válvula con entrada de flujo máximo de agua	104
107. Grafica experimental de Presión vrs. Voltaje	105
108. Grafica teórica de Presión vr. Voltaje	105
109. Gráfica teórica de Presión vrs. Voltaje	106
110. Gráfica de voltaje respecto a presión	108
111. Circuito impreso con los componentes soldados	108
112. Válvula para el control del flujo de agua	109
113. Válvula para el control del flujo de gas	109
114. Adaptador para el sensor de presión de la parte superior de la torre	110

115. Adaptador para el sensor de presión de la parte inferior de la torre	110
116. Fuente de poder instalada	110
117. Panel de control instalado	111
118. Entradas en el panel de control	111
119. Colocacion de la válvula para el flujo de retorno	114
120. Circuito de la tarjeta controladora de la clave digital	125
121. Circuito de la tarjeta controladora de la torre de absorción	126

RESUMEN

El megaproyecto 2008 “Automatización del invernadero y el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG” nace con el objetivo de automatizar varias áreas dentro del campus de la universidad a un costo bajo. Toma procesos ineficientes por la falta de recursos y su forma de utilización, los cuales se transforman de una forma manual a una computarizada, de manera que el usuario pueda hacer uso de ellos de una forma fácil y eficiente.

Con referencia a la automatización del invernadero en esta fase, éste se divide en dos módulos: actuadores e ingreso.

El módulo de actuadores es el encargado de la implementación y control de los dispositivos que provocan cambios en dos de los parámetros ambientales dentro del invernadero: la temperatura y la humedad relativa.

Para el control de la temperatura se propone la utilización de un sistema de riego tipo Mist que funciona convirtiendo el agua en pequeñas partículas las que al evaporarse logran disminuir la temperatura. Para el control de la humedad relativa se propone la utilización de un sistema de ventilación, el cual extraiga el aire húmedo del ambiente renovándolo con aire fresco del exterior del invernadero. Además este módulo incluye el control de un sistema de riego por goteo que ya se encuentra instalado en las macetas grandes, el cual permite un mejor aprovechamiento del agua pues su riego es sectorizado al volumen de tierra cercano a la raíz de la planta.

En el módulo de ingreso se realizará una descripción de los dispositivos utilizados para la elaboración del la clave digital y la descripción del programa que se desarrolló para lograrlo. Se llevó a cabo por medio del ingreso de un código de 5 dígitos a un teclado matricial y desplegar los menús por medio de una pantalla LCD.

Con referencia a la automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias se tratará el Módulo de Torre de Absorción.

Se presentará una descripción de los sensores de presión, humedad y temperatura colocados en la torre de absorción y de las válvulas de precisión utilizadas para el control de los flujos de entrada. Se mostrará el circuito implementado para cada dispositivo y el funcionamiento que desempeña cada uno. Se creó un programa que controlará todos dispositivos desde una computadora para lograr el funcionamiento de la torre de absorción.

Todas las mediciones obtenidas en los módulos se comunicaron de forma serial a un computador y se dejó implementado para una comunicación con la red ZigBee, para su procesamiento y representación en un software.

Primera parte

AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO DE LA UVG

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, al igual que en otros países, se ha hecho uso de invernaderos, para brindar a los cultivos protección ante plagas, además de un ambiente adecuado que favorezca su crecimiento.

Estas edificaciones, se han desarrollado con fines comerciales y educativos: Por ejemplo Popoyán, una institución comercial, cuenta con estructuras totalmente automatizadas, donde principalmente se cultivan pilones de melón para exportación. Asimismo, existen los enfocados hacia usos educativos entre los cuales cabe mencionar el ubicado en la Universidad de San Carlos de Guatemala, cuyo objetivo principal es proteger a los cultivos de plagas, mas no así mantenerlos en un ambiente controlado. Y es aquí donde se incluye el del Departamento de Agroforestal de la UVG, creado en 1982, donde el estudiante invertía tiempo monitoreando humedad, y temperatura por observación. También manejaba manualmente el encendido y apagado de un extractor y un sistema de riego por goteo. Además, debía velar por otros aspectos biológicos esenciales para la supervivencia de su cultivo. [1]

Ante el continuo deterioro de la instalación y la creciente dificultad para realizar investigaciones, surge la necesidad de automatizarlo y remodelarlo con el Megaproyecto 2008 *Automatización del invernadero y el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG*, trayendo así encendido automático y manual de extractores y aspersores, con monitoreo del estado de los actuadores por medio del uso de un ordenador. Esto generará una mayor oportunidad

investigativa a los estudiantes de ingeniería agroforestal, porque tendrán un clima controlado que podrá ser modificado. Adicionalmente, esta herramienta no se limitará a una computadora dentro del invernadero, y toda la información generada por los sensores y actuadores podrá ser transmitida de manera inalámbrica por una red ZigBee, que al estar conectada a un servidor la pondrá a disposición a través de internet, donde también se podrá controlar la apertura de aspersores y encendido de extractores.

Anteriormente, se habían realizado dos tesis con enfoque similar al de esta investigación. La tesis titulada: Medición de parámetros atmosféricos y su conversión a información digital para su procesamiento creada por José Luis Alvarado Rodas, se basaba en la medición de temperatura ambiente, presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento de forma digital. Sus mediciones eran hechas a través de transductores que transmitían esa información a un módulo de procesamiento, llamado microcomputadora, conformado principalmente por el procesador Z-80. La microcomputadora transmitía su información a través del puerto paralelo a una computadora personal (PC), para que ésta, por medio de un programa realizado en Turbo Pascal 5.1, monitoreara los parámetros, los imprimiera y además controlara los distintos tipos de medición a realizar:

- Medición de un parámetro solamente
- Medición de un solo parámetro por tiempo indefinido
- Medición de los 6 parámetros mencionados una sola vez
- Medición de los 6 parámetros por tiempo indefinido

En su diseño, utilizó el sensor LM335 para medición de temperatura ambiente, el dispositivo NPS100A para medición de presión atmosférica, un capacitor que variaba su capacitancia en relación con la humedad relativa, un Piranómetro de Eppley para medición de la radiación solar, un anemómetro para velocidad del viento, y una flecha direccional para indicar la dirección del

viento.[2]

Posteriormente, trece años más tarde, Manuel José Cotero Girón en su tesis titulada: Invernadero con Microclima Controlado Electrónicamente, propone un sistema con ambiente controlado en el que se mide humedad relativa, iluminación y temperatura con sensores electrónicos. Sus parámetros se medían por medio de módulos independientes cada uno controlado por un micro controlador PIC16F872 y con un protocolo diseñado implementado por el mismo.

Para medición de temperatura ambiente utilizó el sensor DS1620, para medición de humedad relativa el dispositivo HS1100, para determinar la iluminación una fotorresistencia, para el control de velocidad del ventilador un dimmer junto con un Triac, y para el manejo de nebulizadores, válvulas de 24VAC. [3]

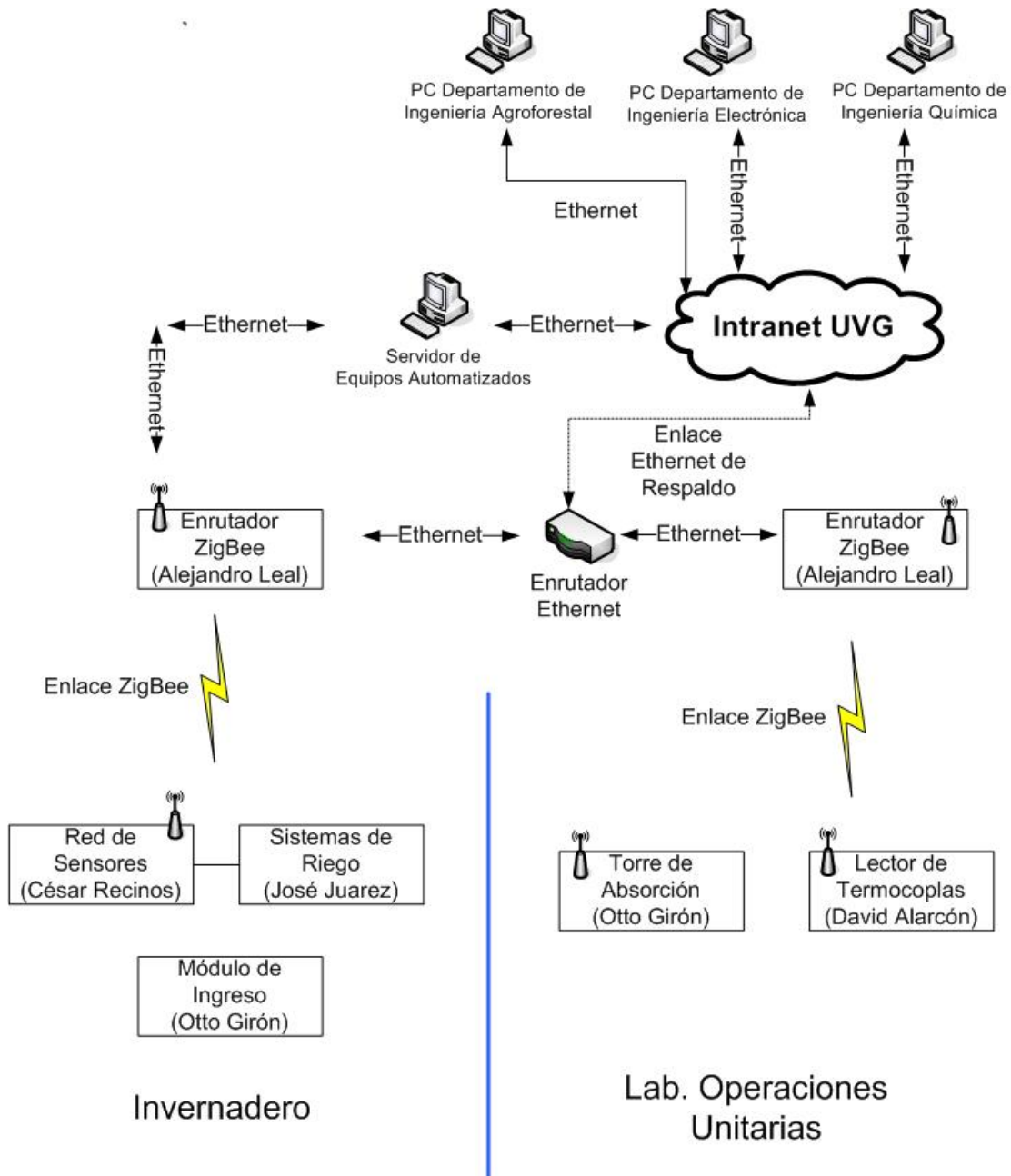
Entre los propósitos de un invernadero se encuentran: mantener protegidas las plantas del exceso de sol, agua, frío, insectos, virus entre otros factores, ya sea para mejorar la cosecha, y satisfacer de mejor manera las necesidades de las plantas, o para poder hacer investigaciones. Por estos motivos se intenta controlar todas las variables posibles dentro del mismo. En este caso, dicho control se refiere al ingreso del invernadero.

Con el proyecto se pretende manejar el control del ingreso al invernadero de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), de manera que solamente el personal capacitado tenga acceso, con el objetivo de mantener la bioseguridad. Debe hacerse la observación que anteriormente a este proyecto no se contaba con ninguna clase de seguridad en dicho invernadero.

La importancia del control del ingreso al invernadero es vital, ya que además del tema de seguridad, las personas pueden llevar agentes infecciosos, los cuales

pueden dañar a las plantas que se encuentren en el mismo. Al restringir el acceso únicamente a personas con capacitación sobre estos agentes infecciosos, se puede reducir este riesgo. En la Figura No. 1 se muestra un diagrama de todos los módulos que componen el Megaproyecto. Cada módulo posee el nombre de la persona encargada.

Figura No. 1 Diagrama de los módulos de megaproyecto



II. OBJETIVOS

A. Objetivos generales

Realizar la primera fase de la automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias e Invernadero de la Universidad del Valle de Guatemala.

Automatizar a un costo bajo parte de los recursos con los que cuenta la UVG, mejorando así la calidad de las herramientas educativas.

Facilitar la investigación dentro de la UVG por medio de la creación o el mejoramiento de equipo.

B. Objetivos específicos

- Implementar una unidad de control que maneje el sistema de riego por goteo, sistema de ventilación y sistema Mist colocados en el invernadero de la universidad.
- Instalar un sistema Mist en el invernadero de la UVG para controlar el parámetro de la temperatura dentro de éste.
- Controlar el parámetro de humedad relativa por medio del sistema de Ventilación.
- Realizar una forma de ingreso automatizada al invernadero por medio de una clave digital y una chapa eléctrica, diseñando e implementando el uso de una clave para el control de las personas que ingresan a éste.

- Mejorar la bioseguridad del invernadero, permitiendo la entrada únicamente a las personas con autorizadas.
- Adaptar los sistemas del invernadero con el uso de una computadora utilizando como medio de comunicación una red ZigBee y un SitePlayer.

III. MARCO TEÓRICO

A. Invernaderos

Figura No. 2 Vista exterior de un invernadero casero [4]



Se le llama invernadero a cualquier construcción de una estructura, cuyo fin sea cultivar plantas dentro de ella. Para que dentro de esta estructura se puedan cultivar plantas se deben cumplir con ciertos requerimientos generales. Los principales requerimientos son: que sea una estructura cerrada de tal manera que se pueda proteger a las plantas de cualquier plaga de insectos que quiera invadir el cultivo, pero que de igual forma exista un ingreso de aire para la planta. Otro requerimiento es que se le pueda brindar iluminación y calor a la planta. Dicha iluminación puede ser natural (solar) o artificial. El último requerimiento importante es que se le pueda brindar agua o irrigación a la planta. Por lo general, las estructuras de los invernaderos están abiertas para proveer la ventilación a las plantas, y se mantienen cerradas para un mejor control de la temperatura. Como se mencionó anteriormente, mantener las estructuras cerradas brinda protección contra enfermedades y ayuda al control de plaga, lo cual ayuda en regiones tropicales, como Guatemala. En la actualidad, los invernaderos no sólo se utilizan para la producción de cultivos de plantas sino también para la producción de plántulas desde la semilla.[5]

Lo innovador de un invernadero es que se varían todos los parámetros anteriormente mencionados, iluminación, agua, aire, o algún otro, de tal forma que se cree un ambiente o condiciones dentro del invernadero las cuales sean propicias para el cultivo de la planta. En pocas palabras, la función principal de un invernadero es proteger el proceso del cultivo de una planta. Protección ante daños causados por el exceso de lluvia, viento, frío o calor.[6]

Figura No. 3 Vista exterior de invernadero industrial [4]



Según fuentes bibliográficas, la utilización de invernaderos para producción de alimentos fue establecida en su totalidad hasta que se utilizó el material de polietileno (tipo de plástico) para la construcción de estos. La primera vez que se utilizó el polietileno en Estados Unidos para la construcción de invernaderos fue en el año de 1948. Este material lo usó el Profesor Emery Myers Emmert de la Universidad de Kentucky, como cubierta para invernaderos de investigación. Él realizaba investigaciones sobre tecnología plástica con propósitos agrícolas.[4]

Desde esos tiempos hasta la actualidad, lo importante de un invernadero es que teniendo un ambiente cerrado destinado a propósitos agrícolas, uno puede controlar las condiciones climáticas dentro de lugar utilizando sensores y actuadores, y así proporcionar el ambiente óptimo para el desarrollo de la planta.[4]

Uno de los medios más efectivos de controlar el crecimiento de las plantas es a través de la regulación de la temperatura. La respiración o el proceso por el cual las plantas utilizan su glucosa, varía considerablemente con la temperatura. De la misma manera, la fotosíntesis o el proceso por el cual se crea glucosa durante las horas del día, también se controla por la temperatura. [7],[8]

Sin embargo, la tasa de fotosíntesis, también está determinada por la cantidad de luz accesible, por lo que la temperatura debe estar coordinada con las condiciones de luz. En días claros, cuando la luz no limita la fotosíntesis, la temperatura del invernadero puede ser mayor que en días nublados.

Cuando la luz está siendo una limitante, una temperatura alta puede aumentar la tasa de respiración hasta que la cantidad de glucosa consumida por la planta sea igual o mayor a la que se produjo en la fotosíntesis, por lo que la temperatura de la noche debe ser lo suficientemente baja para asegurar que los azúcares creados durante el día no se usen en su totalidad. [7],[8]

Consiguientemente, una vez que las plantas están en sus compartimentos, creciendo, la temperatura durante la noche debe mantenerse entre 15.5° y 18.3°C, ya que de caer debajo de los 14.4°C, durante el desarrollo del fruto, ocasionará un crecimiento pobre. Durante el día deben estar entre 21.1° y 23.8°C, y en días claros, la temperatura podría llegar hasta los 26.6°C, sin tener un efecto negativo en el desarrollo del cultivo.

En días nublados, la temperatura debe mantenerse entre los 18.3° y 20.0°C. Siempre que se mantenga este “horario” de temperaturas, los frutos se desarrollarán de forma normal, teniendo una forma lisa y de alta calidad. [7],[8]
La humedad relativa dentro del invernadero debe siempre mantenerse debajo de los 90%, para mantener bajo control la enfermedad de la hoja (leaf mold disease), tan destructiva para las plantas del tomate. [7],[8]

Figura No. 4 Interior de un invernadero en la ciudad de Navarra, España



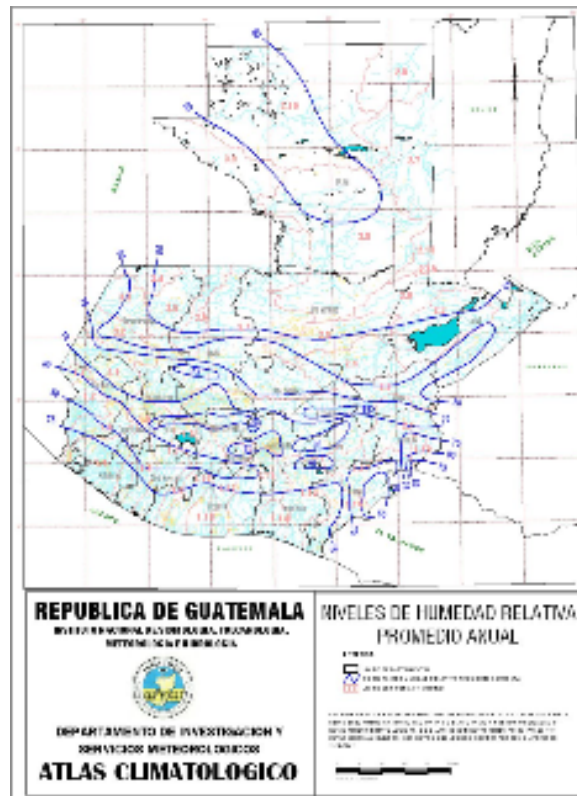
B. Atlas climatológico de la República de Guatemala

Se utilizaron los mapas mostrados en las Figuras No.5 y 6, con el propósito de obtener niveles de temperatura y humedad promedio registradas en Guatemala, para estar consientes de cuanto puede variar el clima exterior con respecto al mantenido dentro del invernadero.

Figura No. 5 Isotermas de temperatura promedio anual, en grados Celsius, de regiones de Guatemala. [9]



Figura No. 6 Niveles de humedad relativa promedio anual, de regiones de Guatemala. [10]



C. Sistemas

Existen varios tipos de sistemas que pueden ser instalados dentro de un invernadero con el objetivo de controlar los parámetros anteriormente mencionados. Debido a la región donde se encuentra localizado Guatemala, los sistemas que generalmente se encuentran instalados dentro de invernaderos nacionales, son los siguientes, aunque dependerá del tipo de cultivo que se tenga:

1. Sistema Mist. El principal requerimiento para lograr la evaporación de agua es la existencia de una gran cantidad calorífica la cual sea absorbida del lugar. Esta es la base de los sistemas Mist o de nebulización, los cuales funcionan de la siguiente forma, convierten el agua líquida a un tamaño de aproximadamente 10 micras y la distribuyen en el ambiente del invernadero

desde el techo. Puesto que el tamaño de las partículas de agua es diminuto, éstas quedan suspendidas en el aire y se evaporan antes de llegar a las hojas de los cultivos, de manera que absorben el calor que se encuentre dentro del lugar logrando así el descenso de la temperatura. Si algunas partículas llegaran a depositarse en las hojas de los cultivos, la cantidad de agua es tan pequeña que no dañaría los cultivos. [6] El dispositivo encargado de convertir el agua en partículas minúsculas de ese líquido se llama boquillas de nebulización o nebulizadores. Existen distintos tipos, ya que pueden ser hidráulicas, gaseosas, centrífugas, cinéticas y térmicas.

Figura No. 7 Nebulizador de alta presión [11]



2. Sistema de riego por goteo. La utilización de agua para el riego y cultivo de plantas cada vez está más restringida debido a la escasez de este elemento vital y la consecuente conciencia social. Debido a esto cada día se han ido incorporando nuevas técnicas y nuevos diseños con el fin del máximo aprovechamiento del agua. Una de las soluciones para este problema vigente en la actualidad es la utilización de sistemas de riego por goteo. El fundamento de esta técnica de riego es el ahorro de agua aplicando únicamente en zonas específicas alrededor de la planta. Generalmente se trabaja con agua a baja presión y a grandes frecuencias, de manera tal que se humedezca sólo el volumen

de tierra donde crezca la raíz de la planta. Es decir, se realiza una constante, localizada y uniforme aplicación de agua. Una de las ventajas más importantes para este sistema de riego es el ahorro del agua comparando con respecto a otros sistemas de riego, además de que no se desperdicia el agua que se deposite fuera de la maceta y evitando la excesiva evaporación del agua. Otra ventaja es el ahorro de energía ya que el riego por goteo permite su funcionamiento a baja presión de agua. Otra ventaja de este sistema es que permite controlar la frecuencia de aplicación del agua y el sector a humedecer. [6]

3. Sistema de ventilación. La renovación del aire que se encuentra dentro de un invernadero incide de manera importante en las condiciones ambientales del cultivo, pues además de cambiar el aire caliente (dentro del invernadero) por aire fresco (fuera del invernadero), afecta también a parámetros como lo son la humedad relativa y concentración de anhídrido carbónico. Esta circulación de aire es importante, pues las plantas, al igual que demás seres vivos, respiran logrando así una interacción con la atmósfera. La utilización de ventiladores y extractores como sistemas de ventilación mejoran el control de circulación de aire. Debido a que el aire caliente es más liviano que el aire frío, se recomienda colocar los extractores de aire en las partes superiores de los invernaderos y tener ventanas hacia el exterior a un nivel más bajo. El uso del extractor de aire tendrá dos funciones. La primera es expulsar el aire caliente que se encuentre dentro del invernadero. La segunda función es que por el mismo movimiento de aire que genera al extraer el aire caliente, también se aspira aire fresco del exterior por medio de las ventanas. Las ventanas deben de tener mallas de manera que no puedan ingresar insectos o cualquier organismo dañino al cultivo. [6] Por lo tanto, de esta manera logramos combatir los grandes enemigos de los cultivos en invernaderos, los cuales según Olivier Laurent (2004:118) se dividen en tres tipos:

<< ...la falta de renovación de aire, que se traduce en una verdadera 'sofocación' de las plantas; una temperatura demasiado alta o demasiado

baja, que genera su quemadura o muerte; Y por último, un ambiente demasiado seco o demasiado húmedo, que dificulta su crecimiento o favorece a la aparición de enfermedades criptogámicas graves y el desarrollo de parásitos de todo tipo.>>

D. Terminología biológica

Bioseguridad es el conjunto de medidas o prácticas diseñadas para evitar o dificultar la entrada y diseminación de agentes infecciosos, de forma que dentro de sus límites exista un mínimo tráfico de organismos vivos (insectos, hongos o cualquier otro agente patógeno que afecte a las plantas).

E. ¿Por qué implementar bioseguridad en la entrada del invernadero?

1. El aire contiene microorganismos que pueden afectar a las plantas, por lo que es adecuado restringir el paso del aire en el medio ambiente para así poder prevenir enfermedades y epidemias en las plantas.
2. Es más rentable prevenir enfermedades que tratarlas.
3. Al realizar investigaciones es necesario que no influyan agentes patógenos que pueden ingresar del exterior.
4. Lograr obtener productos de mejor calidad y que estén más cerca de los estándares internacionales.
5. Permitir el ingreso únicamente a las personas deseadas.

F. Microcontroladores

Microcontrolador, es un circuito integrado que ofrece las posibilidades de un pequeño computador. En su interior se encuentra un procesador, memoria y varios periféricos. La mejor característica de los microcontroladores está en su tamaño, precio y diversidad. [12]

Una característica importante es poder colocar dentro de la memoria del microcontrolador el código que se desee para que este realice cualquier función en específico, lo cual muestra una gran versatilidad, ya que se puede realizar distintas funciones como el microcontrolador lo permita.

G. Dispositivos de entrada y salida

1. Teclado matricial. Es un arreglo de botones conectados en filas y columnas, de modo que se pueden leer varios botones con un mínimo número de pines requeridos. Por ejemplo, un teclado matricial 4×4 solamente ocupa 4 líneas de un puerto para las filas y otras 4 líneas para las columnas, de este modo se pueden leer 16 teclas utilizando solamente 8 líneas de un microcontrolador. [13]

Para su funcionamiento se asume que todas las columnas y filas inicialmente están en alto (1 lógico), es decir en 5 voltios. La pulsación de un botón se puede detectar al poner cada fila en bajo (0 lógico), en 0 voltios y buscar cada columna un cero. Si ninguna columna está en bajo entonces el 0 de las filas se recorre hacia la siguiente y así sucesivamente. [13]

Figura No. 8 Teclado Matricial [13]



2. Pantalla de cristal líquido. Pantallas LCD (por sus siglas en inglés “Liquid Crystal Display”), sistemas eléctricos que tienen la capacidad de orientar la luz que generan sobre una capa conductora para poder formar figuras, en este caso números y letras.

La pantalla LCD es uno de los periféricos más empleados para la presentación de mensajes ya que posee una gran flexibilidad para su uso, una buena visibilidad y un precio accesible.

La comunicación de un microcontrolador hacia una pantalla LCD, puede ser de dos formas, paralela o serial. En la comunicación paralela los datos y comandos son enviados a través de un bus de datos en forma paralela, que puede ser de 4 ó 8 bits. En la transmisión serial se establece una comunicación asíncrona por medio de un bus de dos líneas de transmisión, para lograr establecer esta comunicación es necesario realizar un circuito que realice el control.

Figura No. 9 Pantalla LCD [14]



3. Chapa eléctrica. Es una chapa común y corriente, con la excepción de que se puede abrir eléctricamente, tal como se puede ver Figura No. 10. Posee un circuito interno que al momento de recibir un voltaje en una terminal se activa y abre la chapa. Necesita de una fuente de alimentación externa para poder funcionar.

Figura No. 10 Chapa eléctrica



4. Recibidor eléctrico. Realiza la misma función que una chapa eléctrica, que se puede abrir al momento de recibir un diferencial de voltaje, su diferencia radica en que al contrario que el picaporte sea el electrónico, el retenedor el picaporte lo es. De esta forma al momento de colocar un voltaje en el recibidor eléctrico, éste libera el picaporte dando lugar a que la puerta se pueda abrir.

Figura No. 11 Recibidor eléctrico



IV. DELIMITACIÓN DEL TEMA

Esta parte del Megaproyecto “Automatización del Invernadero y Laboratorio de Operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala” se limita a la implementación, monitoreo, instalación y control de los sistemas que afectan los parámetros de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero. También incluye el control del sistema de riego por goteo y el control de acceso al invernadero.

El módulo de actuadores está limitado:

- Sistema Mist. Sistema encargado de variar los parámetros de Temperatura, mediante el uso de nebulizadores.
- Sistema de ventilación. Sistema encargado de variar los parámetros de Humedad Relativa, mediante el control del extractor de aire.
- Sistema de riego por goteo. Sistema encargado de controlar la válvula que permita la irrigación del cultivo.

El módulo de ingreso al invernadero se limita a:

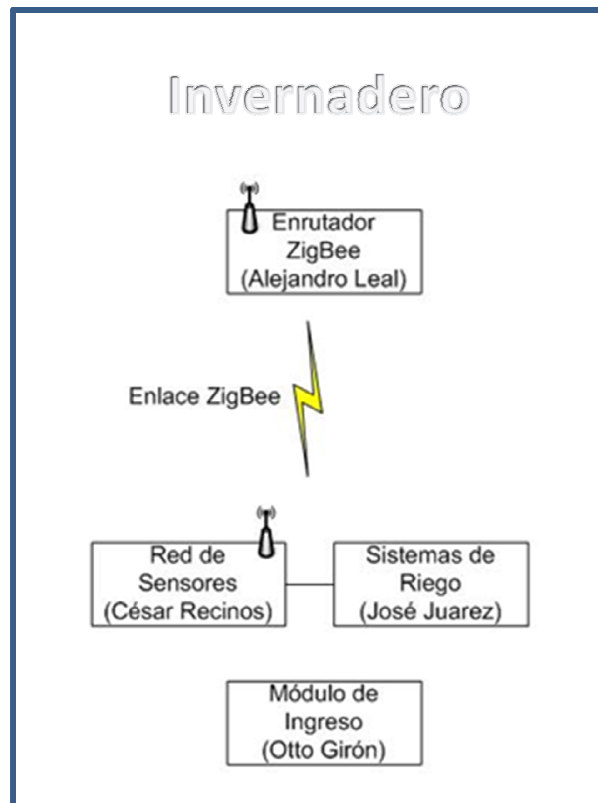
- realizar una clave digital para controlar el acceso al invernadero.

El módulo estará limitado a: 1) una pantalla LCD para visualización, 2) el control que se hará por medio de un teclado matricial y, 3) poder abrir o cerrar la puerta por medio de una chapa eléctrica. Este sistema se encontrará instalado en la entrada del invernadero de la UVG.

V. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el Megaproyecto en el invernadero, se dividió el trabajo en tres distintos módulos, como se puede ver en el diagrama que se muestra en la Figura No. 12.

Figura No. 12 Diagrama de los módulos de Megaproyecto en el Invernadero

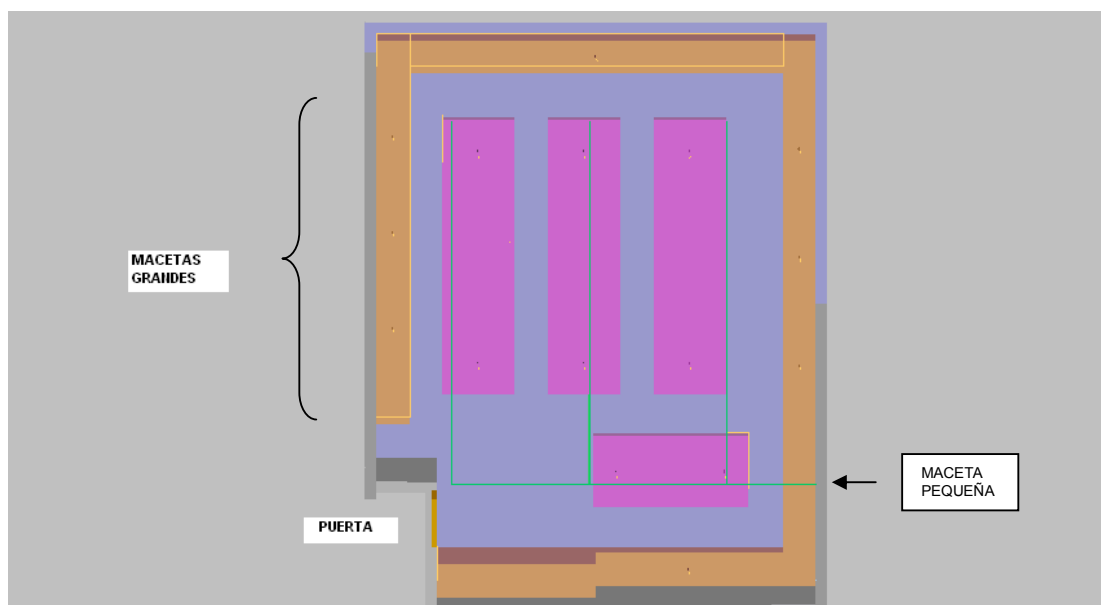


El invernadero se encuentra localizado en el campus central de la Universidad del Valle de Guatemala. Está situado en la parte posterior del edificio C. El invernadero no se encuentra en excelentes condiciones, pero uno de los objetivos de este Megaproyecto es iniciar un proceso de remodelación del mismo.

El invernadero mide 10.53 m de longitud y 7.80 m de ancho. El área del invernadero no es un rectángulo, puesto que en la entrada hay un cubículo

pequeño que es donde se encuentra colocada la puerta. El área de este cubículo es de $(2.21 \times 1.0) \text{ m}^2$. El techo del lugar está construido de manera triangular, por lo cual en su punto máximo la altura es de 3.63 m, y en su punto más bajo la altura del techo es de 2.77 m. El invernadero tiene en su interior 4 macetas: 3 macetas grandes o principales, y una maceta pequeña o auxiliar. La maceta pequeña mide 2.78 m de longitud y 1.29 m de ancho. Las macetas grandes miden 4.93 m de longitud y 1.29 m de ancho.

Figura No. 13 Vista superior del invernadero (diseño en AUTOCAD)



A. MÓDULO DE ACTUADORES

1. Funcionamiento del sistema. El sistema se puede dividir en dos capas: capa de aplicación y capa de microcontrolador. La capa de aplicación es el programa que crea la interfaz para el usuario y arma el paquete que se envía por el módulo de comunicación hacia la capa de microcontrolador. En pocas palabras se puede decir que la capa de aplicación es todo el proceso que está relacionado con la computadora. La capa de microcontrolador, son todos los procesos que realiza el microcontrolador que se encuentra dentro del invernadero, al recibir información de parte del módulo de comunicación, la cual proviene de la capa de

aplicación.

Figura No. 14: Diagrama general de las capas del módulo de actuadores



Debido a que el sistema Mist y el sistema de Ventilación afectan a los parámetros de Temperatura y Humedad conjuntamente, se dividió un parámetro para cada sistema de manera que el Sistema Mist es el encargado de controlar el parámetro TEMPERATURA, y el sistema de Ventilación es el encargado de controlar el parámetro HUMEDAD RELATIVA.

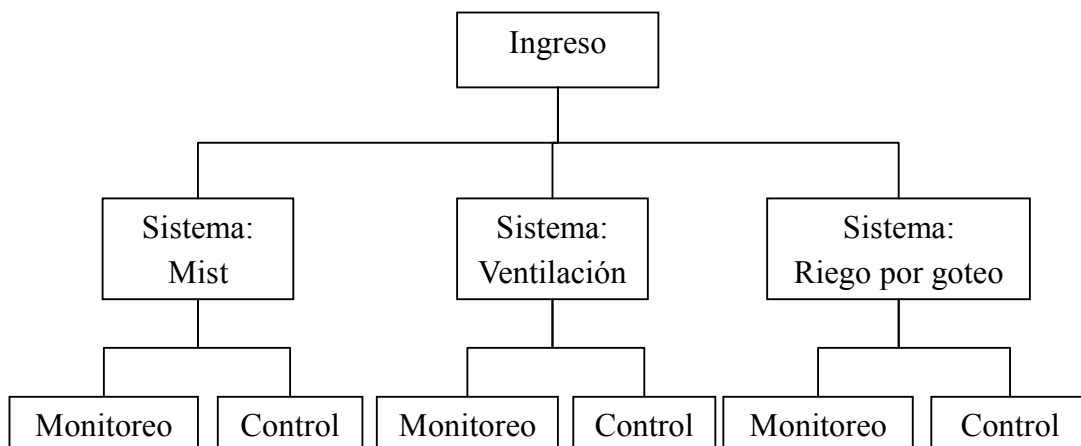
a. Capa de aplicación. El sistema empieza a funcionar en el momento en que el usuario ingresa a la aplicación del Módulo de actuadores desde su computadora. Al ingresar a la aplicación, se debe elegir un sistema:

- Sistema Mist
- Sistema de ventilación
- Sistema de riego por goteo

Elegido ya el sistema, se debe elegir una de las dos acciones:

- Monitoreo
- Control

Figura No. 15: Diagrama general de la capa de aplicación



En monitoreo, se puede observar cuál es el estado de cada uno de los actuadores de los distintos sistemas dentro del invernadero, el cual puede ser encendido o apagado, únicamente. En control, se puede observar el estado de los actuadores pero también se puede cambiar dicho estado. Existen dos formas de controlar el estado de los actuadores:

- Manual
- Automático

En modo manual básicamente se elige el actuador y se le asigna un estado (encendido o apagado). En el caso del sistema Mist se tienen 4 válvulas solenoide que se pueden encender o apagar. En el caso del sistema de Ventilación se tiene un único actuador para encender o apagar, el cual es el extractor de aire. En el caso del sistema de riego por goteo sólo se tiene una válvula solenoide para controlar. En modo automático se debe ingresar el valor máximo que puede tener un parámetro, ya sea humedad, en el caso del sistema de ventilación, o temperatura, en el caso del sistema Mist. En ambos casos, los actuadores en conjunto con el Módulo de Red de sensores, mantendrán el ambiente del invernadero de manera que no exceda los valores máximos de los parámetros anteriormente mencionados.

Figura No.16: Diagrama de bloques del sistema Mist (capa de aplicación)

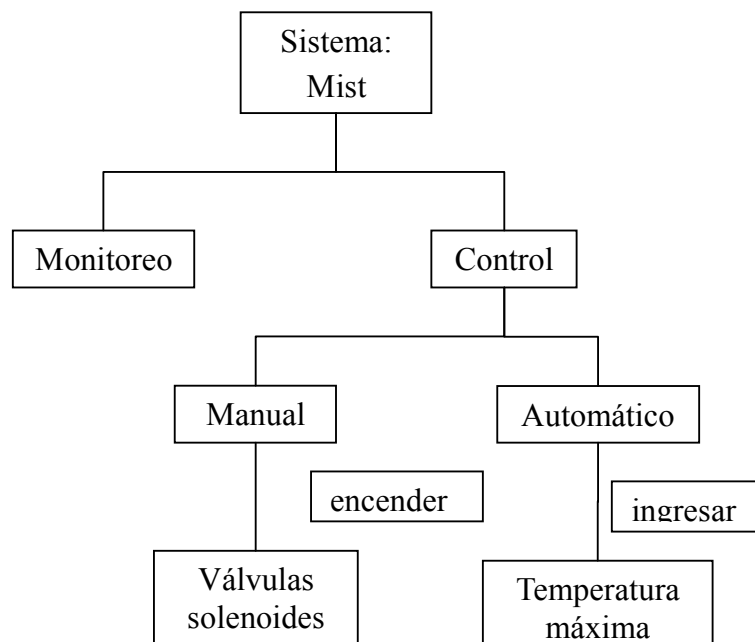
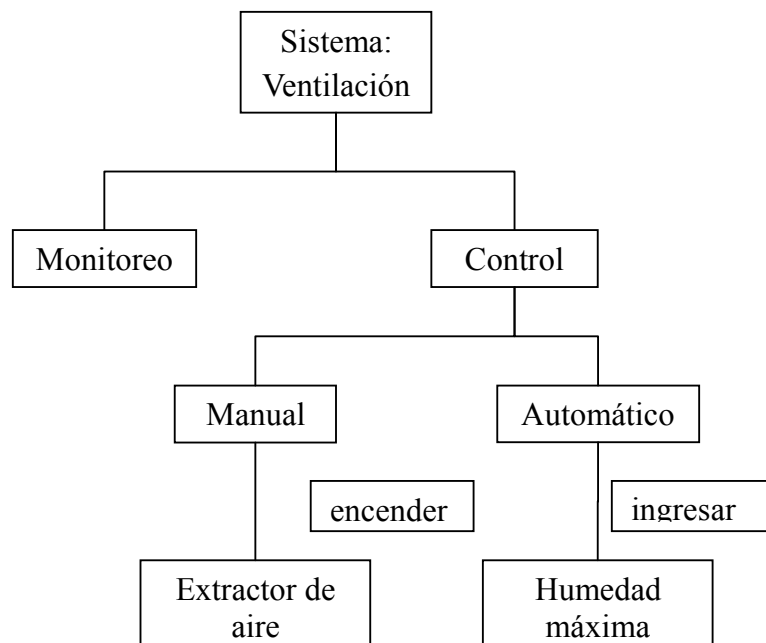


Figura No. 17: Diagrama de bloques del sistema de ventilación (capa de aplicación)



Obtenida toda esta información, la capa de aplicación transmite el mensaje hacia la capa de microcontrolador por medio del Módulo de Comunicación.

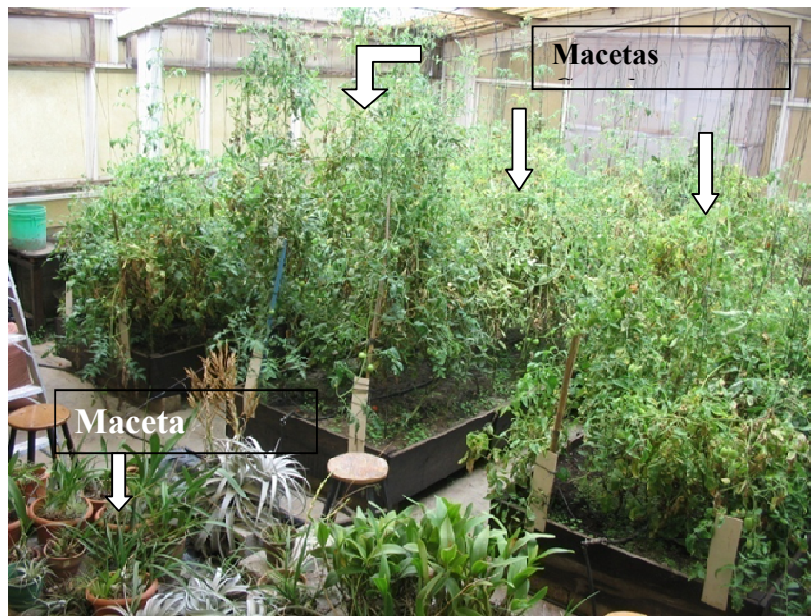
b. Capa de microcontrolador. En esta capa el microcontrolador recibe el mensaje enviado por la capa de aplicación, pero transmitido por la capa de comunicación, y lo procesa. Primero determina para qué sistema está siendo enviado el mensaje. Luego determina cuál es la instrucción que está enviando la capa de aplicación y procede a realizarla. Debido a que el microcontrolador siempre está enviando el estado de sus actuadores, cuando se recibe un mensaje debe ser de Control, es decir, una instrucción. En la siguiente sección (Trama) se explicará más a fondo cómo se interpreta el paquete recibido y enviado. Al recibir el mensaje de Control, el microcontrolador actúa de la siguiente forma:

- Si el mensaje indica modo manual, el microcontrolador acciona el actuador según el estado asignado.
- Si el mensaje indica modo automático, se trabaja en conjunto con el Módulo de red de sensores. Se ingresa el parámetro máximo, ya sea temperatura o humedad relativa, y en base a esa información el

microcontrolador enciende o apaga los actuadores de manera que el parámetro, leído por los sensores, no exceda de ese valor máximo.

2. Implementación de los sistemas

Figura No. 18: Macetas dentro del invernadero

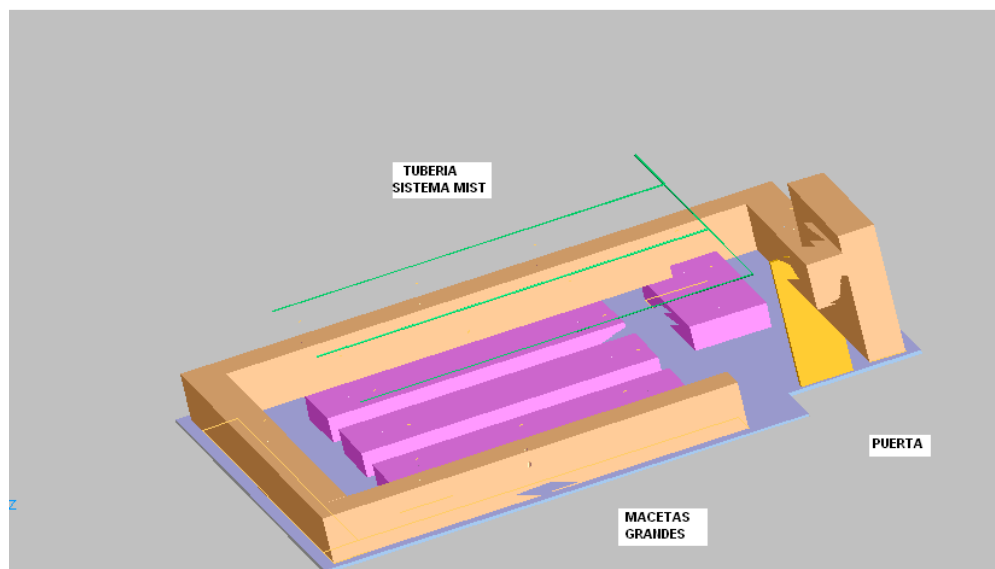


a. Sistema Mist. El sistema Mist consta de cuatro elementos esenciales: la tubería, los nebulizadores, las válvulas solenoide y el circuito de control. Se diseñó un sistema aéreo de tubería, el cual contiene 14 nebulizadores, los cuales son las salidas del agua. El flujo de agua está controlado por las válvulas solenoide, las cuales a su vez son controladas por el circuito control.

El material para la tubería es PVC, debido a que su precio es menor al de tubería galvanizada. Además, el manejo de tubería PVC es más fácil, pues pesa menos y es más fácil de cortar que la tubería galvanizada, porque está hecha de metal. Los nebulizadores están fabricados con material plástico. El sistema de tubería consta de una rama principal, la cual atraviesa el invernadero a lo ancho. De esta rama principal, surgen cuatro ramas auxiliares, una por cada maceta. Las ramas que están por encima de las macetas grandes contienen 4 nebulizadores cada una, a una distancia de 1m aproximadamente entre cada nebulizador. La

rama que está encima de la maceta pequeña contiene 2 nebulizadores, separados 1.5m aproximadamente entre sí.

Figura No. 19: Diseño del sistema de tubería para el sistema Mist (vista izquierda, hecho en AUTOCAD)



Se puede observar que la tubería comienza en el extremo derecho del invernadero. Esto se debe a que en ese sector se encuentra la fuente de agua, la cual está colocada debajo de la pila. Las válvulas solenoide estarán colocadas en el inicio de cada rama, de manera que el flujo de agua en cada rama se puede controlar (menos la principal), y así se puede controlar los nebulizadores que se encuentran en cada rama auxiliar.

En el mercado guatemalteco, solo se consiguió válvulas solenoide de $\frac{1}{2}$ " y la tubería PVC utilizada es de $\frac{3}{4}$ ". Por tal razón, se utilizó elementos extras para la adaptación de las válvulas solenoide. Se utilizó elementos de tubería galvanizada, llamados reductor campana de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ " y niple de $\frac{1}{2}$ ". Se utilizó galvanizado debido a que no existen o no se consiguen fácilmente en el mercado guatemalteco, estos elementos en PVC.

Figura No. 20: Pila del invernadero



Figura No. 21: Válvula solenoide utilizada en el sistema Mist y de riego por goteo

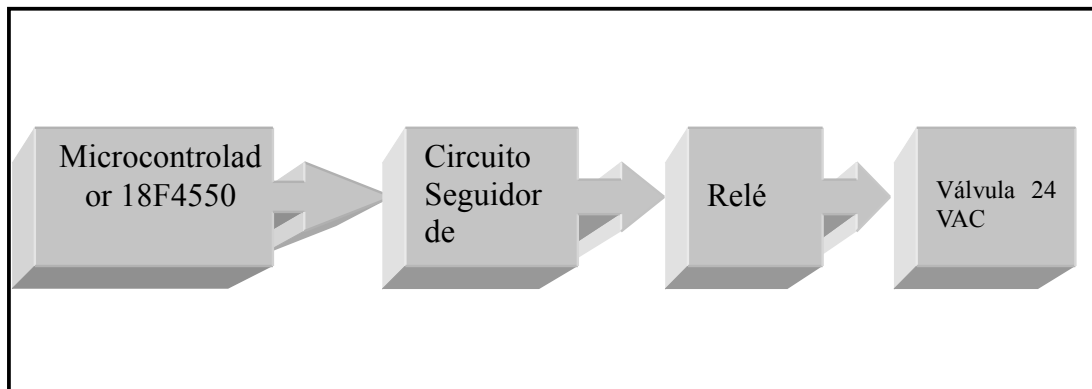


Tabla 1: Características de la válvula solenoide

Elemento	Tipo	Marca	Radio	Estado	Voltaje de funcionamiento	Potencia	Resistencia interna
Válvula	Solenoides	Baccara	1/2"	NC	24 VAC	2W	35.5 ohms

Las válvulas solenoide se encuentran normalmente cerradas (NC). Al aplicarle un voltaje alterno (AC) de 24 voltios, las válvulas se abren. Para controlar las válvulas solenoide, desde el circuito de control, se utilizó cable para conectarlas al circuito. El circuito de control consta del microcontrolador 18F4550, de un circuito seguidor (por válvula) y un relé (por válvula). De las salidas del relé se conecta el cable que alimenta las válvulas.

Figura No. 22: Diagrama de bloques del circuito de control



El circuito de control mostrado en la Figura No.23 funciona de la siguiente forma: el microcontrolador, tiene asignado un pin a cada válvula solenoide (4 pines). Según la orden del usuario, el microcontrolador enviará una señal de 0 (apagado) ó 5 voltios (encendido), al relé. Debido a que el relé requiere más corriente para funcionar que la que puede proveer el microcontrolador, se coloca un circuito seguidor de transistores, con la única función de proveer corriente al relé cuando el microcontrolador envíe la señal de encendido. Una vez activado el relé, este cierra la alimentación del voltaje alterno (24 voltios) que la válvula necesita.

Figura No. 23: Circuito de control de sistema Mist

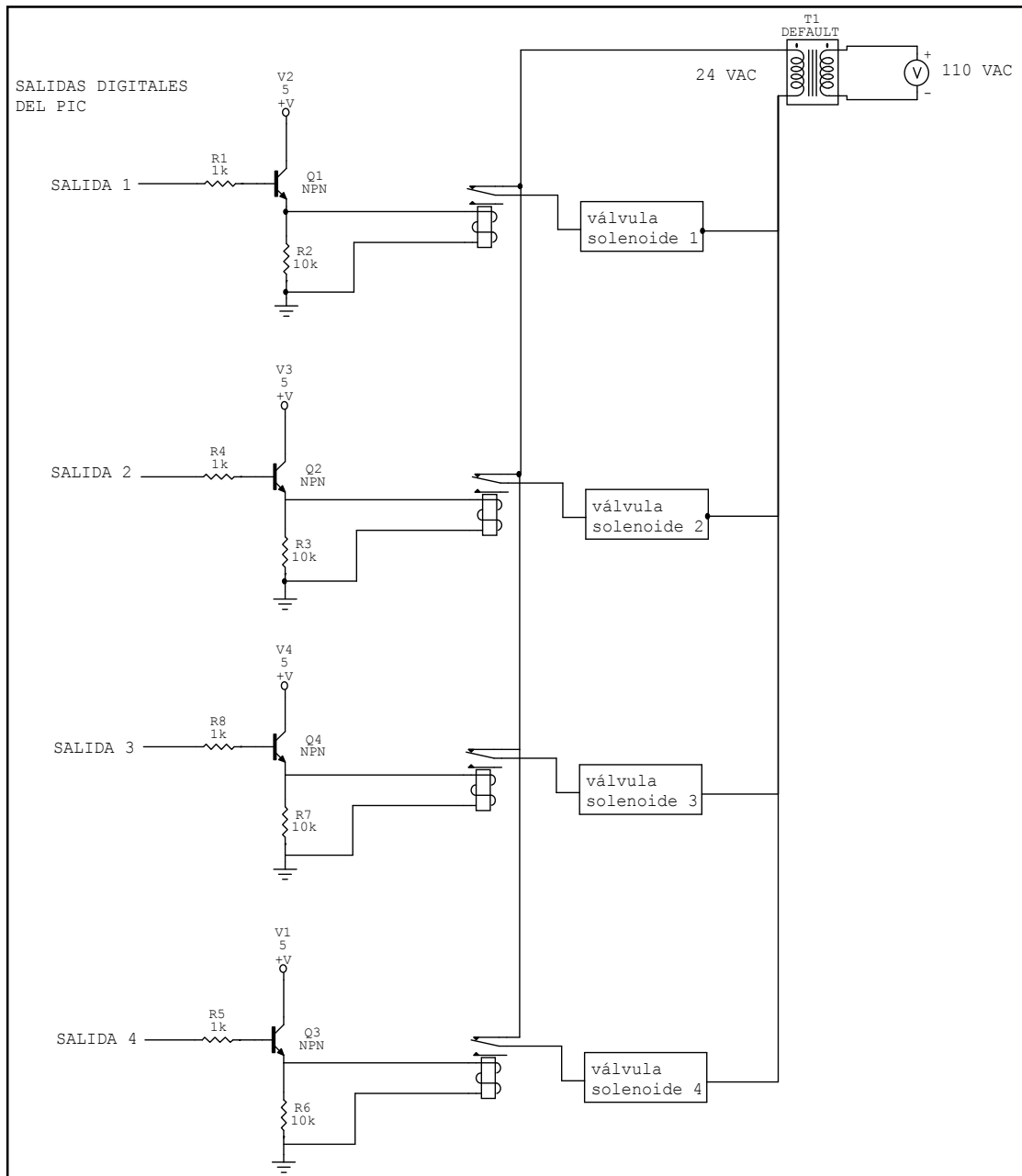
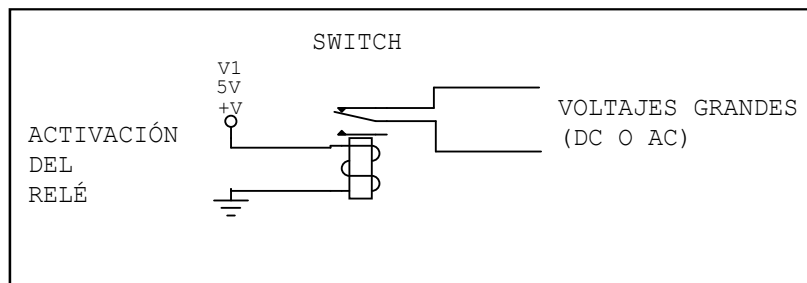
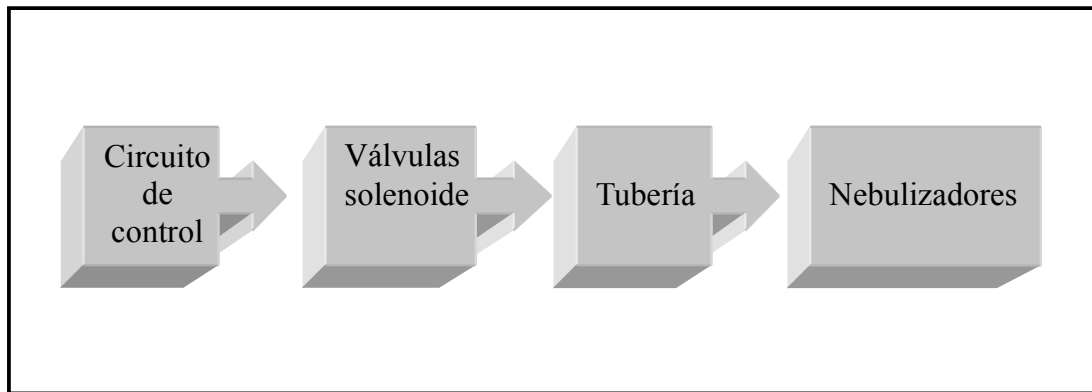


Figura No. 24: Funcionamiento del circuito de relé



En la Figura No.25, se muestra el diagrama de bloques de todo lo que contiene el sistema Mist.

Figura No. 25: Diagrama de bloques del sistema Mist



b. Sistema de ventilación. El sistema de ventilación para el invernadero consta de dos elementos esenciales: el extractor de aire y el circuito de control. El extractor de aire tiene la función de generar un movimiento aéreo, en el cual, ingresa aire fresco por las ventanas que se encuentran frente a él, y de esta forma renueva el aire que se encuentra dentro del invernadero. El extractor de aire utilizado en este sistema ya se encontraba instalado en el invernadero, por lo tanto, hubo que adaptar el circuito de control al actuador ya instalado. Básicamente el problema es controlar con pequeña potencia (microcontrolador) la gran potencia del extractor de aire. En la siguiente tabla se muestran las características del extractor de aire.

Figura No. 26 Extractor de aire del invernadero

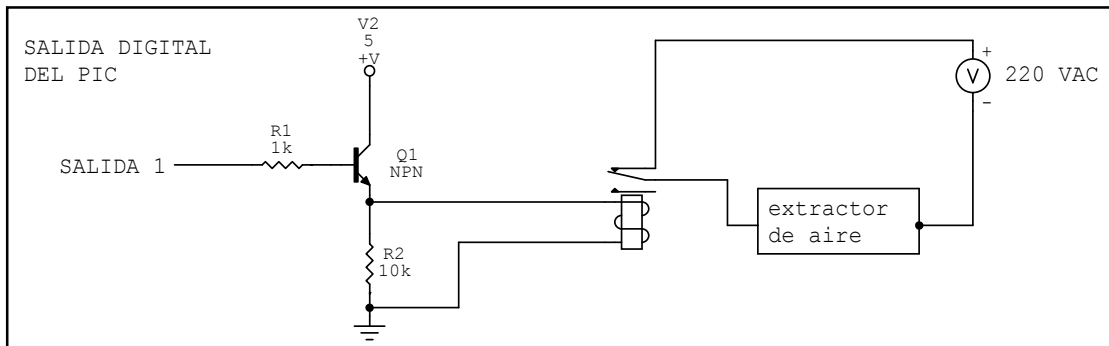


Tabla 2: Características del extractor de aire

Elemento	Marca (motor)	Voltaje de funcionamiento	Potencia	Fase	RPM	Medidas (largo aspas)
Extractor de aire	Siemens	127/220 AC	16.28 kW	Monofásico	1745/1720	41 cm

Como se muestra en la tabla anterior, el extractor de aire necesita una alimentación de 220 voltaje AC para su activación. Para brindar esta alimentación al extractor, se utiliza el circuito seguidor y un relé para controlar esta gran potencia con la utilización de un microcontrolador.

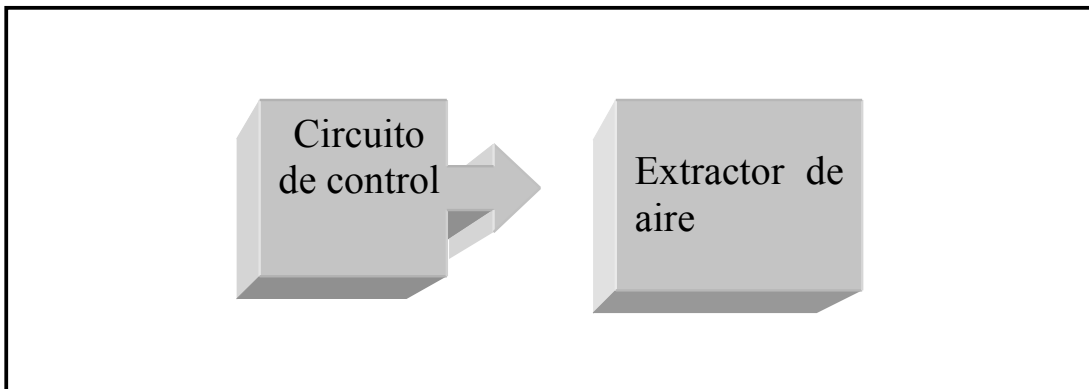
Figura No. 27: Circuito de control del extractor de aire



El circuito de control se basa en la utilización de un transistor en configuración de interruptor seguidor, (corte y saturación) el cual activa un relé el cual cierra la alimentación de 220 voltaje AC, permitiendo así, la activación del extractor de aire.

En la Figura No. 28 se muestra el diagrama de bloques del sistema de ventilación del invernadero.

Figura No. 28: Diagrama de bloques del sistema de ventilación

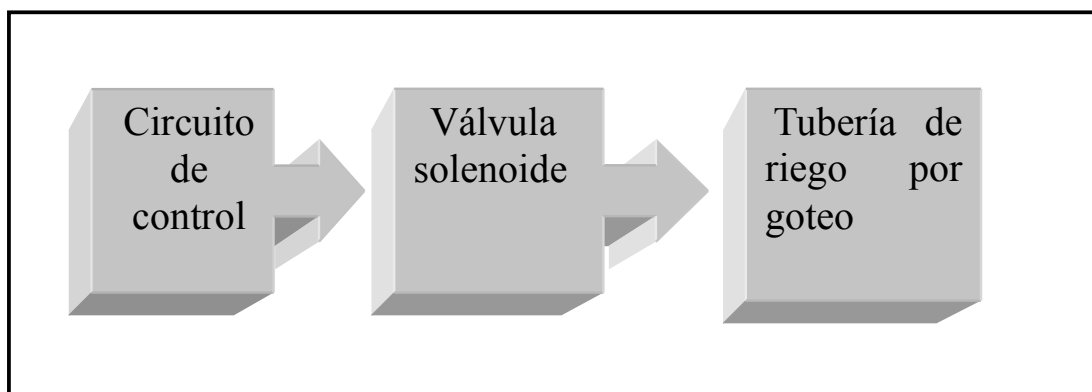


c. Sistema de riego por goteo. El sistema de riego por goteo del invernadero consta de 3 elementos esenciales: la tubería de riego por goteo (distinta a la del sistema mist), la válvula solenoide y el circuito de control. Se diseñó un sistema que controlara el sistema de riego por goteo que ya se encontraba instalado en el invernadero. Para controlar el funcionamiento del sistema de riego por goteo, se debe controlar el flujo de agua. Por esta razón se

colocó una válvula solenoide entre la alimentación (fuente) de agua y la tubería de riego por goteo. El papel del circuito de control es activar o desactivar la válvula solenoide por medio de un microcontrolador.

El circuito de control que activa o desactiva la válvula solenoide consta de un relé y un circuito seguidor de transistor, los cuales se conectan al dispositivo microcontrolador, el cual es el encargado de enviar la señal de mando para la válvula solenoide. El circuito de control es el mismo utilizado en el sistema Mist (ver Figura No. 23 de circuito de control de sistema Mist), pues la válvula solenoide es del mismo tipo que las utilizadas en ese sistema. Por último, se muestra el diagrama de bloques del sistema de riego por goteo para el invernadero.

Figura No.29: Diagrama de bloques del sistema de riego por goteo para el invernadero



B. PROTOCOLO

En esta sección se explica cómo se puede empaquetar la información a enviar por medio del Módulo de comunicación y cómo se asimilan los paquetes de información recibidos.

Tabla 3: Empaquetado general para transmisión de información

1 byte	2 byte	N bytes
Instrucción para módulo de comunicación	Dirección	*Trama
Encabezado para SitePlayer	Encabezado para SitePlayer	Información

Instrucción para módulo de comunicación: debe enviar en el primer byte la instrucción que se desea que el SitePlayer realice, ya sea lectura o de escritura.

Dirección: se le envía en qué dirección de la memoria del SitePlayer se desea leer o escribir.

Trama: en estos bytes se envía la información que se desea transmitir (en caso la instrucción sea de escritura al SitePlayer). Si la instrucción es de lectura solo se envía la instrucción y dirección SIN trama.

Trama de envío y/o recepción

Tabla No. 4 Trama de envío/recepción

Inicio trama	ID Proyecto	Total Tramas	# Trama	Datos	Fin Trama
254 (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	D1 ... D11	255

Descripción de tramas

- Inicio trama (254): Toda transmisión empieza con el byte 254.
- ID Proyecto (1 Byte): Identificador único de proyecto. Dos proyectos que utilicen la página y por consiguiente el protocolo NO pueden tener el mismo ID de proyecto.
- Total Tramas: Número total de tramas que utilizará el proyecto, por ejemplo, 2 tramas de envío, 1 trama de recepción y 1 trama de error hacen un total de tramas de 4.
- # Trama: El número de la trama que se está enviando. Siempre hay que empezar con las tramas de envío, luego se enumeran las de recepción y por último la de error.
- Datos: Hasta 11 Bytes de datos en un solo envío/recepción.
- Fin Trama: Toda transmisión termina con el byte 255.

C. MÓDULO DE INGRESO

1. Pasos en el diseño del módulo de ingreso. Los pasos que se siguieron para realizar la clave digital son los siguientes:

- a. Estudiar los requerimientos para el módulo de ingreso.
- b. Diseño de la estructura del módulo de ingreso.
- c. Diseñar el modo de operación de la clave digital.
- d. Seleccionar los componentes que cumplieran con las necesidades de la clave digital.
- e. Desarrollar un software que realice las especificaciones creadas anteriormente.
- f. Realizar el circuito impreso en una placa de cobre.
- g. Integración de los componentes en la placa de cobre.
- h. Instalación de la clave digital y la chapa eléctrica en el invernadero de la UVG.

2. Selección de componentes. Para realizar la clave digital, se procedió primero a seleccionar los componentes que se utilizarían para alcanzar los objetivos deseados.

a. Selección del microcontrolador. Se escogió el microcontrolador PIC16F877A (PIC “Programmable integrated circuit”) de la familia Microchip. Se utilizó este microcontrolador para controlar el teclado matricial, tener almacenadas las claves y el programa para la interfaz con el usuario, y para controlar la pantalla LCD gráfica. Se utilizó este microcontrolador debido a que posee bastantes entradas o salidas digitales, las cuales hacen posible el control de la pantalla LCD y el teclado matricial.

Se manejó una frecuencia de 20 MHz en el reloj del microcontrolador, que es su velocidad máxima, para obtener una respuesta rápida de todo el control del microcontrolador. Para generar este tren de pulsos, se utilizó un oscilador de lógica de transistor transistor (TTL “transistor transistor logic”), ya que se obtiene una señal más clara que la de los cristales. En la configuración del microcontrolador se deshabilitaron las siguientes funciones:

- Watch Dog Timer, WDT
- Power Up Timer, PWRT
- Low Voltage Program, LVP
- In-Circuit Debugger, ICD

b. Selección de los dispositivos de entrada y salida. El teclado matricial que se escogió fue de 4 x 4 debido a que se tiene la cantidad de botones suficientes para desarrollar la clave digital, así como el control del menú del administrador. El teclado a utilizar es el que se muestra en la Figura No. 30.

Figura No. 30 Teclado Matricial de 4 x 4



Se seleccionó una pantalla LCD de 2 x 16 de funcionamiento en paralelo, como se muestra en la Figura No. 31. Ésta servirá para que el usuario pueda ver lo que esté realizando en el teclado matricial y de esta forma no equivocarse al ingresar el código al momento de querer entrar al invernadero.

Figura No. 31 Pantalla LCD de 2x16



c. Selección del sistema de apertura de la puerta. Se selecciono el receptor eléctrico sobre la chapa eléctrica debido a dos razones: a) bajo costo y b) su facilidad de instalación en la puerta del invernadero de la UVG.

Características del receptor eléctrico:

- Voltaje de alimentación: 8 a 12 VAC
- Corriente de alimentación: 0.3 a 0.5 A
- Longitud: 158 mm

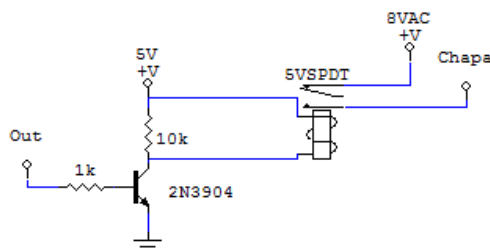
3. Diseño de la clave digital. Se procedió a realizar la estructura de almacenamiento en el programa para mantener las claves de los usuarios guardadas en el microcontrolador. Luego, se procedió a la verificación de las

claves al momento de ser ingresadas. Por último, se realizó el menú para el administrador y la implementación de las funciones que este contiene.

Teniendo ya un programa que realice las funciones deseadas, se realizó un circuito impreso en una placa de cobre para integrar los componentes. Para finalizar, se instaló la clave digital en el invernadero.

a. Diseño del circuito para activar el receptor eléctrico. Se realizó un circuito para activar por medio del microcontrolador un relé para cerrar el circuito de voltaje AC que necesita el receptor eléctrico para su funcionamiento. Se utilizó el circuito que se muestra en la Figura No. 32.

Figura No. 32 Circuito para activar el receptor eléctrico



4. Descripción de los modos de operación. El usuario ingresará su clave de cinco dígitos por medio del teclado matricial, tendrá la pantalla LCD para poder saber lo que se está realizando y de esta forma obtener acceso al invernadero. También hay una clave para el administrador, el cual tendrá privilegios sobre todas las demás claves. El administrador podrá, por ejemplo, modificar las claves o borrarlas, y también podrá ingresar al invernadero.

5. Funcionamiento deseado.

a. Funcionamiento para el usuario. El usuario deberá ingresar una clave de cinco dígitos para poder tener acceso al invernadero, de lo contrario la chapa electrónica no se abrirá. Al terminar de ingresar la clave se debe presionar la tecla

“Enter” y se verificará si la clave ingresada es correcta o no. Si el usuario se ha equivocado al ingresar la clave y desea volver a ingresarla antes de terminar de presionar los cinco dígitos, puede presionar el botón de “Clear” para borrar los dígitos que ha ingresado. Al presionar el botón de “Help” aparecerá en la pantalla LCD un mensaje que le indicará al usuario que debe de ingresar 5 dígitos. Los botones de las flechas y el botón de “2nd” estarán deshabilitados para el usuario. Si se presionan, aparecerá en pantalla que no es válido y se borrará la clave, en caso que se haya empezado a ingresar.

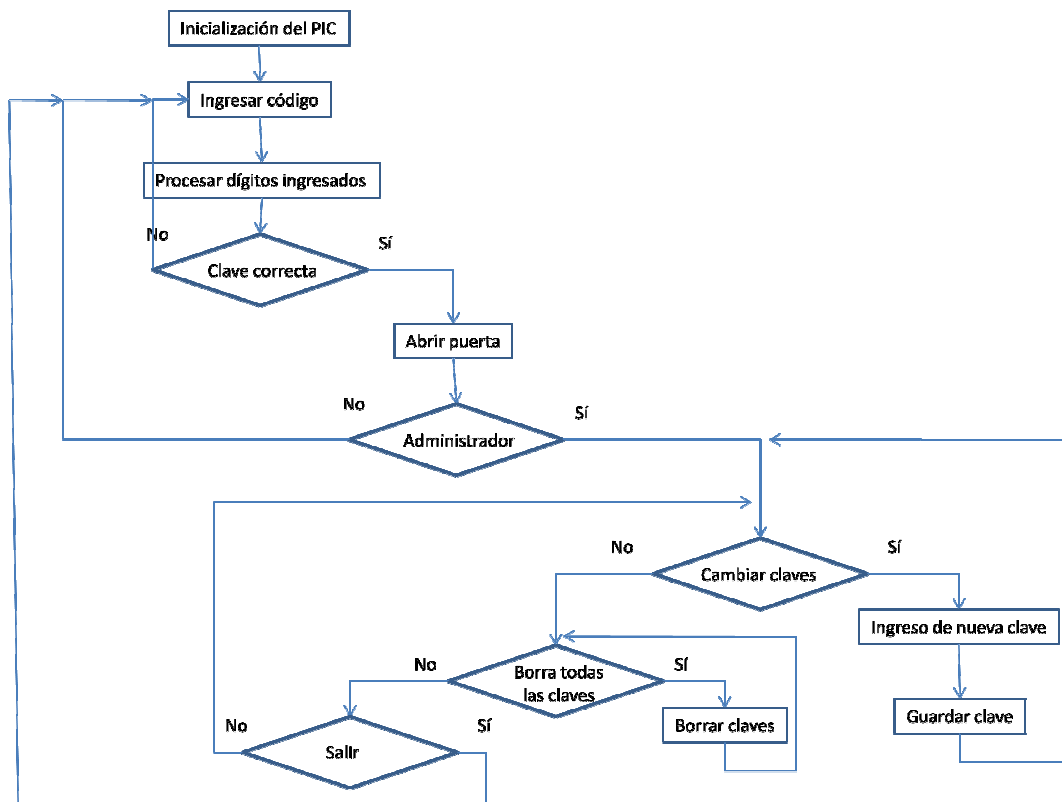
b. Funcionamiento para el administrador. El administrador conocerá la “Master Key”, que es la clave con que se tendrá acceso tanto al invernadero como al menú del administrador, con el cual podrá realizar las modificaciones que desee. Al estar en el menú, el administrador deberá seleccionar la opción que busca moviéndose por medio de las flechas que tiene el teclado. Para seleccionar, debe de presionar el botón de “Enter”.

6. Programa en lenguaje de mikroBasic. Este programa fue creado para controlar desde el microcontrolador PIC16F877A los dispositivos de entrada y salida para lograr el funcionamiento de la clave digital.

El funcionamiento del programa se basa en guardar los números que componen cada clave digital en la memoria flash del microcontrolador y por medio del teclado matricial, obtener las claves digitales ingresadas y compararlas con las que se tienen programadas. De esta manera se comprobará si ésta es correcta o no para darle paso al invernadero abriendo la chapa electrónica. Se utiliza la pantalla LCD para retroalimentar al usuario sobre lo que está ocurriendo. El código del programa puede verse en el apéndice B.

Se utilizó la memoria flash del microcontrolador PIC16F877A para guardar los códigos de la clave digital, debido a su fácil utilización y buen funcionamiento.

Figura No. 33 Diagrama de flujo del funcionamiento del programa



7. Funcionamiento para los usuarios. Únicamente deben ingresar correctamente su código de cinco dígitos en el orden establecido para poder obtener acceso al invernadero. Aparece en pantalla “Insert code”, y al presionar los dígitos, aparecen asteriscos. Para realizar esto, deben de ingresar los 5 dígitos y luego presionar Enter, lo que hará que aparezca en pantalla “Access Granted”. Al momento de ingresar una clave y cometer un error con un dígito, el usuario puede presionar la tecla Clear y se borrarán los dígitos presionados para poder ingresar de nuevo la clave digital. Si los usuarios presionan el botón de Help, saldrá en pantalla "Insert 5 digits whit the key pad". Si presionan las flechas o el botón de 2nd, aparecerá en pantalla "Not Valid" ya que no se pueden utilizar al momento de ingresar una nueva clave.

8. Funcionamiento para el administrador. Se buscaba que la clave digital tuviera un administrador que pueda tener control sobre las demás claves para

poder hacer más versátil el funcionamiento de la clave digital, así como que el encargado del invernadero pueda decidir cuántas claves pueden haber y que los usuarios puedan escoger su clave, es decir su código de acceso. Es importante poder cambiar los códigos, ya que si se desea que alguna persona ya no tenga permitido ingresar al invernadero de la UVG, únicamente se debe cambiar su código de acceso o eliminarlo.

a. Submenú del administrador

- Change code #1
- Change code #2
- Change code #3
- Change code #4
- Erase all codes
- Exit

Al seleccionar una de las primeras cuatro opciones del menú “Change code”, se pueden cambiar las cuatro claves digitales ingresando 5 nuevos dígitos que conformarán la nueva clave. Si se selecciona “Erase all codes”, se borrarán las cuatro claves digitales. Para poder salir del submenú del administrador, se debe de seleccionar “Exit”.

b. Funcionamiento con el teclado matricial. Primero se debe ingresar correctamente la clave del administrador por medio del teclado matricial. Una vez ingresada, aparecerá en pantalla “Master Key” e ingresará al submenú del administrador. Estando en este menú, se podrán ver las distintas opciones moviéndose con las flechas hacia arriba y hacia abajo del teclado matricial. Para seleccionar una de estas opciones, se debe presionar el botón de Enter. Si se desea a cambiar un código, se deben ingresar cinco nuevos dígitos para crear una nueva clave, y aparecerá en pantalla “Insert new code”. Si se selecciona borrar todas las claves, estas automáticamente quedarán borradas y luego de seleccionar una de estas dos opciones, se puede volver a mover con las flechas para seleccionar otra opción o ir a la opción de salir y presionar Enter para salir del menú del administrador.

VI. RESULTADOS

A. Resultados Módulo de actuadores

La sección de resultados está dividida en los siguientes capítulos:

- Infraestructura del sistema Mist
- Resultados de capas
- Variación de parámetros dentro del invernadero

1. Infraestructura del sistema Mist. Comprende la tubería, los nebulizadores y las válvulas solenoides. La construcción se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- a. Armado de ramas auxiliares
- b. Armado de rama principal
- c. Ensamble de adaptación de válvulas
- d. Acople de válvulas a rama principal
- e. Elevación de rama principal
- f. Adaptación de nebulizadores a ramas auxiliares
- g. Prueba de fugas
- h. Elevación y acople de ramas auxiliares y principal
- i. Unión de sistema de tuberías a fuente de agua
- j. Alimentación de las válvulas solenoide

a. Armado de ramas auxiliares. Cada rama auxiliar se armó uniendo tubos de 1m por medio de coplas de $\frac{3}{4}$ ". Para las ramas de las macetas grandes se utilizaron 4 tubos y para la tubería de la rama de la maceta pequeña se utilizaron dos tubos.

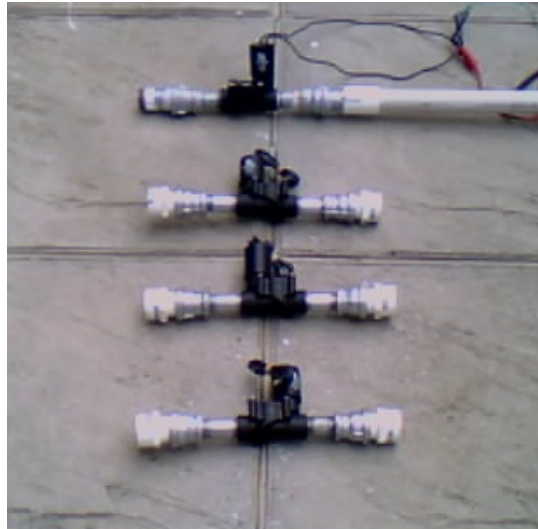
Figura No. 35: Tubería de ramas auxiliares



b. Armado de la rama principal. La rama principal de la tubería Mist es la encargada de unir las ramas auxiliares con la fuente de agua del invernadero. Esta rama está unida a las auxiliares mediante las válvulas solenoide, por lo tanto el agua se mantiene en la rama principal y cuando la válvula solenoide se enciende, ésta permite el flujo de agua hacia las ramas auxiliares para activar los nebulizadores. La rama principal se armó también con tubos de 1m y coplas, pero para las bifurcaciones se utilizaron T's y codos.

c. Ensamble de adaptación de válvulas. Se ensambló a cada válvula solenoide su adaptación a la tubería PVC de $\frac{3}{4}$ " como se muestra en la Figura No. 36 del diseño experimental, en la cual se convierte de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " en la entrada de la válvula y se convierte de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ " en la salida.

Figura No. 36: Adaptación de la válvula solenoide



d. Acople de válvulas a rama principal. Básicamente en este paso se pegó cada válvula solenoide a las salidas de la rama principal.

e. Elevación de rama principal. Se levantó la estructura de la rama principal junto con las válvulas solenoides pegadas a la rama.

Figura No. 37: Rama principal elevada junto a la tubería de la estructura de cableado de la red de sensores



f. Adaptación de nebulizadores a ramas auxiliares. Este paso fue dificultoso, debido a que el diseño del nebulizador permitía que flujo de agua se escapará en la unión entre el tubo PVC y el nebulizador. Por tal razón se necesitaba un sellador que a su vez pegara el nebulizador al tubo PVC. Además este pegamento debía soportar agua y presiones medias (60 psi aproximadamente). Luego de suficientes pruebas se concluyó que el mejor material para el pegado y sellado de la tubería se llama Epoxy, que es resistente al agua y que resiste hasta 1500 psi. Los siguientes materiales se utilizaron pero no sirvieron debido a diversas razones (presión del agua, no pegaba material PVC, no resistente al agua):

- Sinkaflex
- Silicón blanco SISTA
- Pegamento para tubería PVC y Duct Tape
- Silicón caliente

g. Prueba de fugas. Luego de haber adaptado los nebulizadores a las ramas auxiliares se le realizó una prueba de fugas a cada rama por separado, utilizando un adaptador y una manguera.

Figura No. 38: Prueba de fugas a una rama auxiliar



h. Elevación y acople de ramas auxiliares y principal. En este paso se elevaron las ramas una a una y se pegaron a la rama principal. Toda la tubería está sostenida de las vigas del invernadero mediante cable acerado. Además se utilizaron cinchos plásticos amarrados entre la tubería y el cable acerado para brindar mayor firmeza. Los nebulizadores se encuentran colocados a 2.10m del suelo.

Figura No. 39: Vista lateral de las ramas auxiliares (macetas grandes) elevadas



i. Unión de sistema de tuberías a fuente de agua. Por último, en lo que se refiere a tubería, se unió el sistema de tuberías completo aéreo a la fuente de agua, la cual se encuentra en la pila.

j. Alimentación de válvulas solenoide. Se conectaron todas las válvulas solenoide al transformador de 24V que se encuentra en el circuito utilizando cable, el cual se transporta sobre la tubería del cableado de los sensores. Se cableó sobre la tubería para mantener lo más aislado posible el voltaje AC (de

las válvulas solenoide) con el voltaje DC (de los sensores) para evitar interferencia.

Fotografías del sistema Mist funcionando:

Figura No. 40: Vista frontal de rama auxiliar de maceta grande



Figura No. 41: Vista de perspectiva de rama auxiliar de maceta grande



Figura No. 42: Vista de tres ramas auxiliares



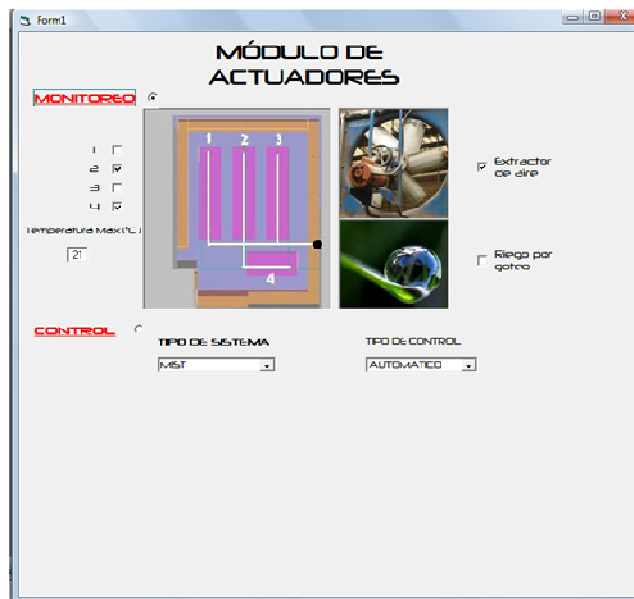
Figura No. 43: Vista frontal de dos ramas auxiliares



2. Resultados de capas

a. Resultados de capa de aplicación. La aplicación es la parte del visual proyecto, la cual mira el usuario cuando ingresa a una computadora para monitorear o controlar el módulo de actuadores. Esta aplicación fue programada en Visual Basic 6.0. En la Figura No. 44 se muestra un screenshot de la aplicación.

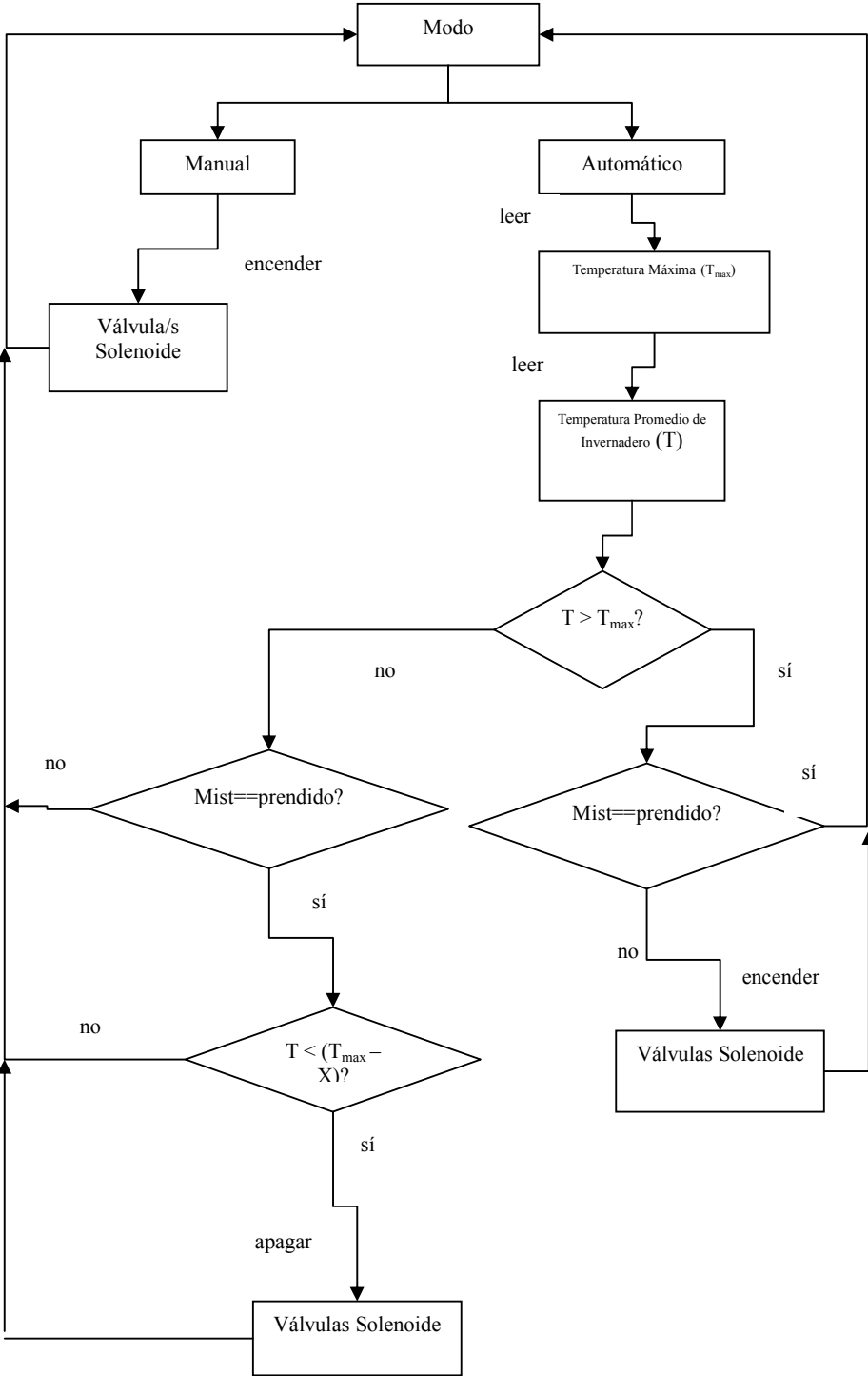
Figura No. 44: Aplicación del Módulo de actuadores



Al ingresar a la aplicación, se puede monitorear el estado de los actuadores en la parte superior de la ventana (a la par de las figuras simbólicas de los sistemas). Las ramas de la tubería del Sistema Mist fueron numeradas para facilitar su manejo. En el caso de que algún sistema estuviera en control automático, el valor del parámetro máximo saldría a la par de la figura correspondiente.

b. Resultados de capa de microcontrolador. Una vez realizados los cambios de control en la capa de aplicación, la información es transmitida por el módulo de comunicación, recibida en la capa de microcontrolador y procesada de la siguiente forma:

Figura No. 45: Diagrama de bloques del control de sistema Mist (capa microcontrolador)



El diagrama de bloques de la Figura No. 45 muestra el funcionamiento del sistema Mist en la capa de microcontrolador que se explica a continuación:

Cuando el microcontrolador recibe un mensaje y reconoce que la instrucción es para el sistema Mist, primero determina en qué modo debe trabajar el sistema.

Si es modo manual, se lee en el mensaje cuántas y cuáles válvulas solenoides deben encenderse y el microcontrolador las activa.

Si es modo automático, el proceso es más largo. Primero se lee en el mensaje el valor del parámetro, en este caso, de temperatura máxima. Luego se lee el valor de temperatura promedio del invernadero (T) la cual es proporcionada por el módulo de red de sensores. Luego se hace la comparación entre los valores de temperatura máxima y temperatura promedio del invernadero, de lo que pueden ocurrir dos eventos:

- **Si la temperatura promedio es mayor que la temperatura máxima** el microcontrolador revisa si el sistema Mist está prendido, es decir, si las válvulas solenoide están activadas. Si las válvulas están activadas, no realiza ninguna acción (pues debe esperar a que la temperatura baje con la activación de las válvulas). Si las válvulas no están activadas, las activa.
- **Si la temperatura promedio no es mayor que la temperatura máxima** el microcontrolador revisa si el sistema Mist está encendido. Si el sistema no está encendido no realiza ninguna acción (pues la temperatura promedio se encuentra correcta). Si el sistema está encendido, realiza una segunda condición. Si la temperatura promedio es menor a (temperatura máxima-X) entonces apaga las válvulas solenoide (donde X es un valor constante de temperatura definido en el programa del microcontrolador). Si la temperatura promedio no es menor a (temperatura máxima-X), no se realiza ninguna acción. Esta segunda condición se realiza para darle un rango mayor de trabajo a las válvulas solenoide, para que no se apaguen inmediatamente después que baje de la temperatura máxima, ya que esto haría que las válvulas solenoide se enciendan y se apaguen en poco tiempo lo cual puede arruinarlas. Esto se debe a que los cambios en la temperatura promedio no van a ser drásticos.

El diagrama de bloques de la Figura No. 46 muestra el funcionamiento del sistema de ventilación que se explica a continuación:

Cuando el microcontrolador recibe un mensaje y reconoce que la instrucción es para el sistema de ventilación, primero determina en qué modo debe trabajar el sistema.

Si es modo manual, se lee en el mensaje si se desea encender o apagar el extractor de aire y el microcontrolador realiza la acción.

Si es modo automático, el proceso es más largo. Primero se lee en el mensaje el valor del parámetro, en este caso, de humedad máxima. Luego se lee el valor de humedad promedio del invernadero (H) la cual es proporcionada por el módulo de red de sensores. Luego se hace la comparación entre los valores de humedad máxima y humedad promedio del invernadero, de lo que pueden ocurrir dos eventos:

- **Si la humedad promedio es mayor que la humedad máxima** el microcontrolador revisa si el sistema de ventilación está encendido, es decir, si el extractor de aire está activado. Si el extractor está activado, no realiza ninguna acción (pues debe esperar a que la humedad baje con la activación del extractor de aire). Si el extractor no está activado, lo activa.
- **Si la humedad promedio no es mayor que la humedad máxima** el microcontrolador revisa si el sistema de ventilación está encendido. Si el sistema no está encendido no realiza ninguna acción (pues la humedad promedio se encuentra correcta). Si el sistema está encendido, realiza una segunda condición. Si la humedad promedio es menor a (humedad máxima-Y), entonces apaga el extractor de aire (donde Y es un valor constante de humedad definido en el programa del microcontrolador). Si la humedad promedio no es menor a (humedad máxima-X), no se realiza ninguna acción. Esta segunda condición se realiza para darle un rango mayor de trabajo al extractor de aire, para que no se apague nomás se baje de la humedad máxima, ya que esto haría que el extractor de aire se prenda y se apague en poco tiempo lo cual puede arruinarlo. Esto se debe a que los cambios en la humedad promedio no serán drásticos.

3. Variación de parámetros dentro del invernadero

Figura No. 47: Sensor digital VWR de humedad relativa y temperatura



Para medir las variaciones de los parámetros de temperatura y de humedad relativa dentro del invernadero se utilizó un sensor digital de temperatura y humedad relativa marca VWR el cual se colocó debajo de la rama principal. Las medidas fueron tomadas en la tarde, aproximadamente a las 3pm. Cada muestra fue tomada cada 2 minutos durante un lapso de tiempo de 44 minutos. Durante las primeras 4 muestras el ambiente no fue afectado por ningún actuador. A partir de la quinta muestra el sistema Mist fue encendido. A partir de la muestra número 16 el sistema de ventilación fue encendido.

Tabla 5: Muestras de temperatura del invernadero medidas cada dos minutos

Número de muestra	Temperatura (°C)
1	25.7
2	26.1
3	26.1
4	25.7
5	25.6
6	24.9
7	22.8
8	22.9
9	22.5
10	21.9
11	21.2
12	19.9
13	19.8
14	19.9
15	19.7
16	19.6
17	19.5
18	19.2
19	19.1
20	19.1
21	19.1
22	18.9

Figura No. 48: Gráfica de temperatura de los datos de la tabla 8

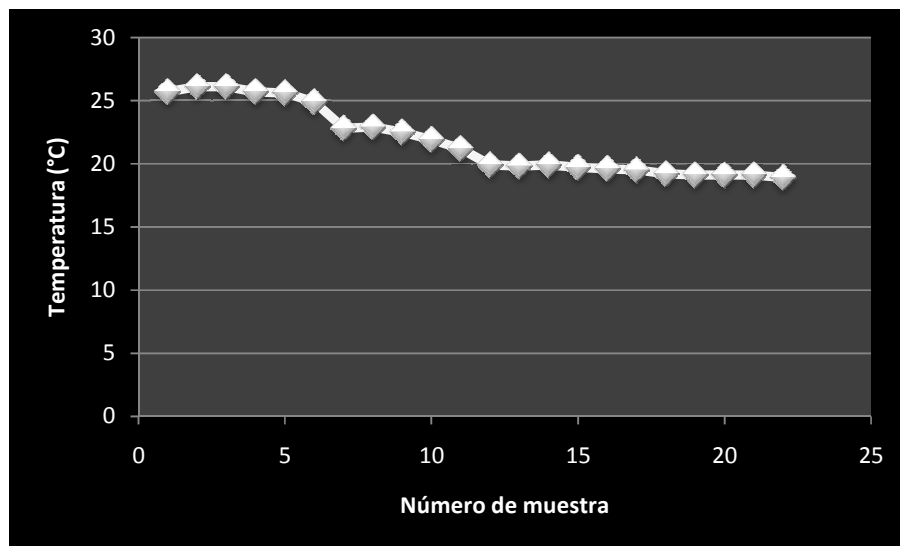
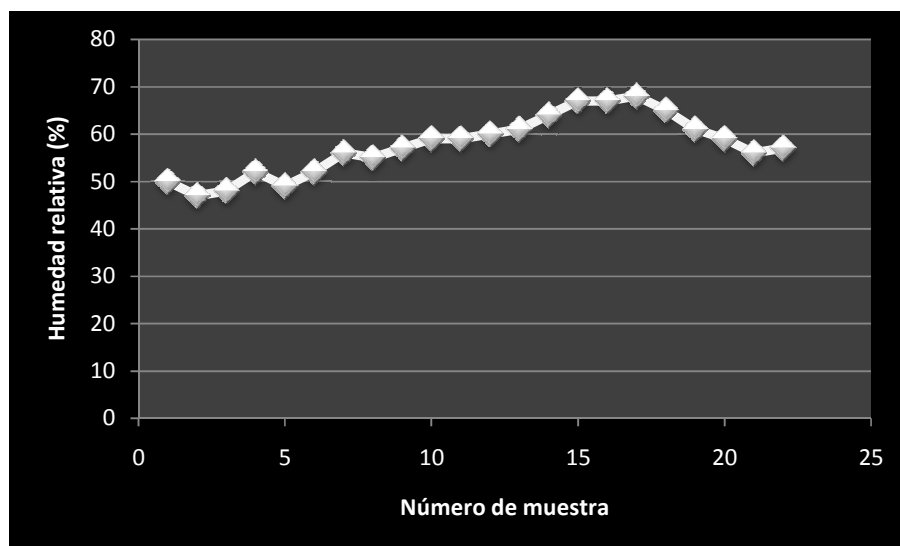


Tabla 6: Muestras de humedad relativa del invernadero medidas cada dos minutos

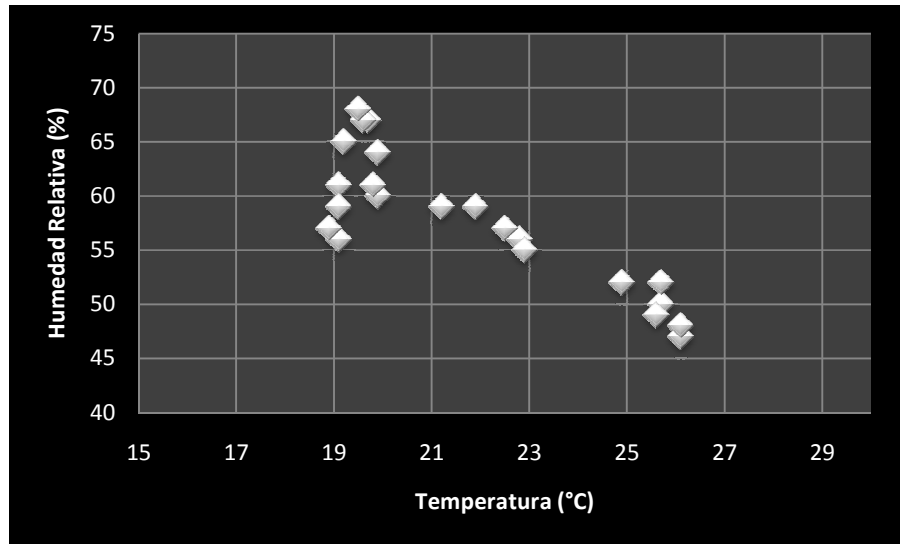
Número de muestra	Humedad relativa (%)
1	50
2	47
3	48
4	52
5	49
6	52
7	56
8	55
9	57
10	59
11	59
12	60
13	61
14	64
15	67
16	67
17	68
18	65
19	61
20	59
21	56
22	57

Figura. 49: Gráfica de humedad relativa de los datos de la tabla 9



Si se grafican los valores de humedad relativa con respecto a los valores de la temperatura dentro del invernadero obtenemos la gráfica de la Figura No. 50 en la cual se obtienen mismos valores de temperatura con humedad relativa distintos.

Figura No. 50 Gráfica de la humedad relativa vrs temperatura



B. Resultados módulo de ingreso

En las Figuras No. 17 a la 25 se muestran los mensajes que el usuario o el administrador observaran dependiendo de lo que realicen.

Figura No. 51 Pantalla LCD: "Insert code"

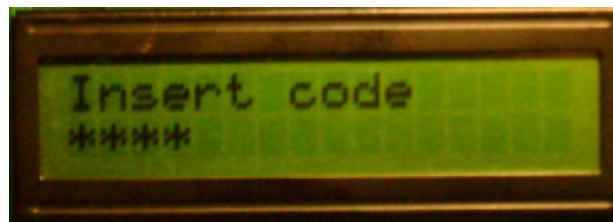


Figura No. 52 Pantalla LCD: "Acces Granted"

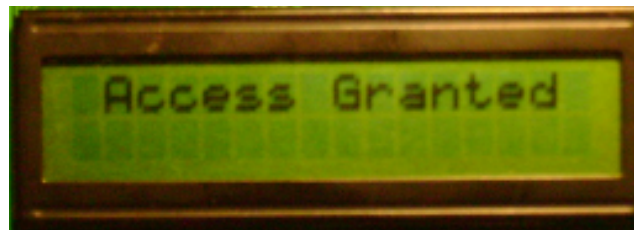


Figura No. 53 Pantalla LCD: "Invalid code"

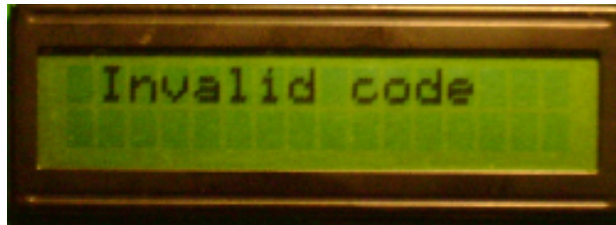


Figura No. 54 Pantalla LCD: "Insert 5 digits whit the key pad"

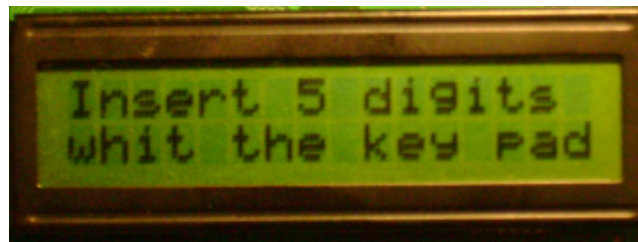


Figura No. 55 Pantalla LCD: "Change code # 1"

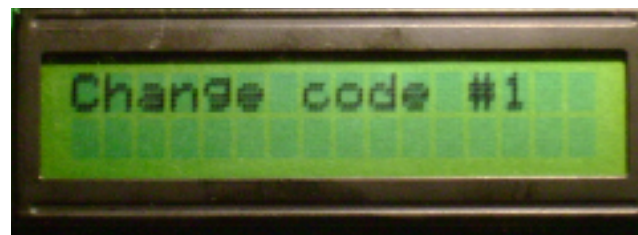


Figura No. 56 Pantalla LCD: "Erase all codes"

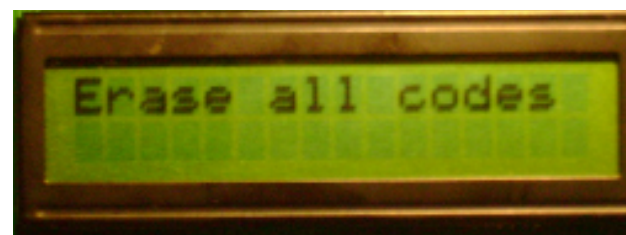


Figura No. 57 Pantalla LCD: “Master Key”

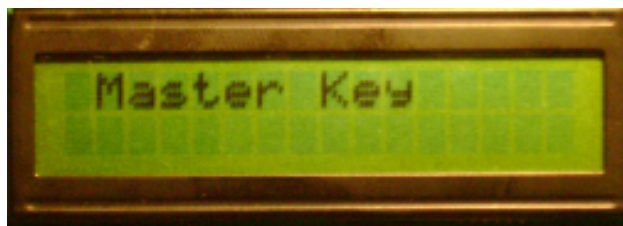
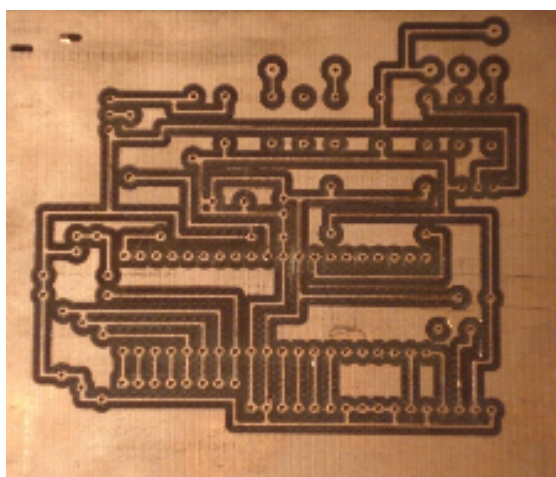


Figura No. 58 Pantalla LCD: “Insert new code”



En la Figura No. 59 se muestra el circuito impreso que se obtuvo, el cual se dejó implementado en el invernadero de la UVG.

Figura No. 59 Circuito Impreso



En la Figura No. 60 se muestra el receptor eléctrico que se encuentra instalado en el marco de la puerta del invernadero de la UVG.

Figura No. 60 Recibidor electrico instalado en el invernadero



En la Figura No. 61 se muestra el diseño final de la clave digital, en donde se puede observar la unión del sistema con la pantalla LCD y el teclado matricial. En su interior se encuentra la placa de cobre con los componentes para el funcionamiento de la clave digital.

Figura No. 61 Clave digital



VII. DISCUSIÓN

El proceso de automatización del invernadero de la UVG se inició colocando los módulos de actuadores, red de sensores e ingreso.

A. Módulo de actuadores

En este módulo se realizó la construcción de la infraestructura del sistema Mist, la cual fue una de las partes más complicadas del proyecto, pues, a pesar que eran labores repetitivas debían realizarse minuciosamente. Lo más problemático de esta parte del proyecto fue el análisis de fugas en las tuberías ya que se debe elegir el sellador/pegamento correcto que se adapte bien al material PVC y que soporte agua a presión. El utilizado fue el sellador/pegamento Epoxy para los nebulizadores y pegamento de PVC de presión Tangit para las uniones de tuberías. También se encontraron fugas donde la tubería se unió por medio de rosca, para lo cual se utilizó sellador silicón Sista.

En lo relacionado a la capa de aplicación, se realizó una interfaz en la que el usuario pueda monitorear y controlar de manera sencilla los actuadores que se encuentran instalados en el invernadero para activar o desactivar los sistemas Mist, de ventilación o de riego por goteo. En la parte de monitoreo de la aplicación, se muestra una vista superior del invernadero con la tubería que comprende el sistema Mist. Esta tubería, como se explica en el diseño experimental, está dividida en 4 ramas que están colocadas por encima de las 4 macetas principales del invernadero: 3 macetas grandes y 1 maceta pequeña. En la aplicación se numeran dichas ramas para luego mostrar cuál rama está en funcionamiento. En la parte de monitoreo también se muestran dos figuras más, las cuales representan a los dos sistemas restantes: La fotografía del extractor de aire que es el actuador encargado de controlar la humedad relativa del ambiente, y la fotografía de una gota de agua, que representa al sistema de riego por goteo. En caso el tipo de control sea automático para los sistemas Mist y de

ventilación, en la parte de monitoreo de la aplicación se mostraría los valores máximos de los parámetros de temperatura y humedad relativa, a la par de las figuras que representan dichos sistemas.

En la parte de control de los sistemas, se colocaron las distintas opciones para los sistemas y para el tipo de control mediante el uso de la herramienta de *ComboBox* de Visual Basic, de tal manera que el usuario no pueda ingresar un sistema o un tipo de control que no exista, facilitándose así el uso de la aplicación. En el caso de los parámetros máximos también se utilizó la herramienta *ComboBox* para que el usuario pueda elegir dentro del rango permitido los valores para los parámetros de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero. En el caso de tipo de control manual para cualquier sistema, se muestra especificado cada actuador que se puede encender mediante un click en la opción correcta. Cada numeración de rama en esta parte de la aplicación está vinculada con la figura mostrada en la parte de monitoreo.

El diseño del programa en la capa del microcontrolador, está enfocado a mantener el valor de los parámetros de temperatura y humedad relativa dentro de un rango aceptable. Si se analiza los diagramas de bloques de las Fig. 45 y la Fig. 46, se puede observar que cuando el tipo de Control es Manual, simplemente se enciende o se apaga el actuador correspondiente.

Cuando el tipo de control es automático, el microcontrolador compara el valor promedio del parámetro con el valor máximo permitido por el usuario. Si el valor promedio excede el valor máximo permitido, se observa el estado del actuador. En caso el actuador está apagado, éste se enciende con el objetivo de reducir el valor del parámetro promedio. En caso el actuador se encuentre encendido, no se realiza ninguna acción.

Si el valor promedio no excede el valor máximo permitido también se observa el estado del actuador. En caso el actuador se encuentre apagado no se

realiza ninguna acción. Si el actuador se encuentra encendido se compara el valor promedio del parámetro con un límite inferior definido por el programador, para determinar si el actuador continúa encendido o si se apaga.

Referente a la variación de parámetros dentro del invernadero, se puede observar que al momento de encender el sistema Mist la temperatura desciende de 25.6°C a 19.7°C (muestra 15), lo cual se debe a que la energía calorífica que se encuentra dentro del lugar es utilizada para evaporar las micropartículas de agua que quedan flotando en el invernadero al encenderse los nebulizadores. Se debe tomar en cuenta que al ocurrir este proceso de evaporación la humedad relativa aumenta. En la Tabla 9 podemos comparar que la humedad relativa aumenta de 49% a 67% hasta la muestra 15, en la que el sistema sólo está siendo afectado por el sistema Mist. A partir de la muestra 16 se enciende el sistema de ventilación para observar su efecto en el sistema. Este sistema de ventilación permite el ingreso de aire fresco por las ventanas y la expulsión del aire húmedo por el extractor, logrando así que la humedad relativa disminuya de 67% a 57% (muestra 22). Este movimiento de aire dentro del invernadero logra también que la temperatura también disminuya de 19.6°C a 18.9°C (muestra 22). Luego se graficó la relación entre la humedad relativa y la temperatura (Fig.50). Analizando la gráfica se observa que a pesar que están dispersos los datos se obtiene una tendencia de disminuir por parte de la humedad relativa a medida que aumenta la temperatura. También se puede observar que entre el rango de 18°C a 20°C la humedad relativa obtiene distintos valores alejados unos de otros. Esto se debe a que la temperatura se encontraba en este rango cuando el sistema de Ventilación se encendió disminuyendo ambos parámetros pero con más incidencia en la humedad relativa.

B. Módulo de ingreso

Se utilizó un receptor eléctrico debido a su bajo costo en comparación con una chapa eléctrica. Ofrece la ventaja de que no se realizó ninguna modificación

a la perilla de la puerta del invernadero, únicamente al marco, por lo que se puede seguir utilizando la misma llave para abrir la puerta de una forma manual.

Se utilizó un código no menor a 5 dígitos ya que con esta cantidad se tienen 1,953,125 posibilidades para un código, lo cual lo hace seguro.

Se colocó un sistema auxiliar de energía, por medio de un relé que al momento de que se perdiera la energía en el invernadero, este se desactivaría colocando en funcionamiento una batería de 9 voltios para que el sistema pueda seguir con su función.

Segunda Parte

AUTOMATIZACIÓN DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

TORRE DE ABSORCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Con este proyecto se desea desarrollar un control automatizado de la torre de absorción de la Universidad del Valle de Guatemala. Actualmente, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de UVG, se encuentra la torre de absorción la cual se controla de forma manual, es decir, los flujos que ingresan a la torre se controlan moviendo las válvulas manualmente. Para que el usuario conozca qué está sucediendo en la torre, debe observar el medidor de la diferencia de presión, el cual consta de una regla. Se realiza el cálculo, dependiendo de la altura que se encuentre el agua, debido a la presión.

Con este proyecto se pretende realizar, tanto el control de las válvulas como la retroalimentación hacia el usuario de una forma automatizada, para que las prácticas realizadas tengan un mejor desempeño y se logre un mejor estudio con la obtención de datos más realistas.

Este proyecto pertenece a la primera fase automatización que se realiza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de UVG, por lo que espera que abra el camino de la automatización en este laboratorio como en la UVG.

En la Figura No. 1 se muestra un diagrama de todos los módulos que componen el Megaproyecto, en esta sección se hablará sobre el módulo torre de absorción.

II. OBJETIVOS

A. Objetivos generales

Automatizar a un costo bajo parte de los recursos con los que cuenta la UVG, mejorando así la calidad de las herramientas educativas.

Facilitar la investigación dentro de la UVG por medio de la creación o el mejoramiento de equipo.

Realizar un módulo de control para automatizar la torre de absorción del laboratorio de operaciones unitarias de UVG, con el cual se pueda mejorar su funcionamiento, obtener datos más reales por medio de los sensores que estarán colocados en ella, facilitar el funcionamiento a los usuarios y tener una visualización del funcionamiento de la torre de absorción en la computadora.

B. Objetivos específicos

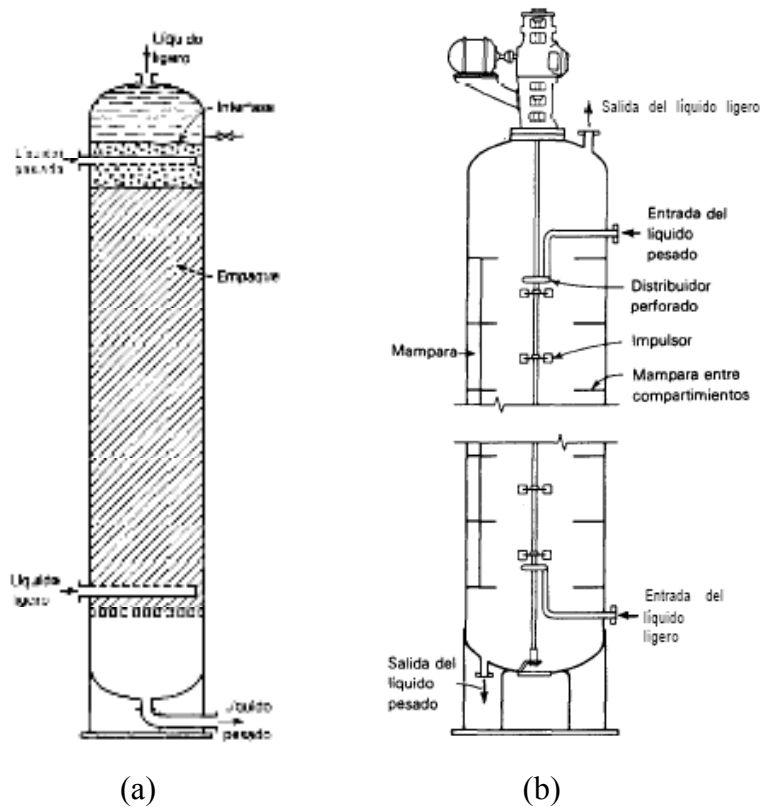
- Controlar el flujo del agua y el gas por medio de válvulas.
- Conocer la temperatura dentro y fuera de la torre de absorción por medio de sensores de temperatura.
- Medir la diferencia de presión respecto de la parte superior con la inferior.
- Conocer el porcentaje de humedad en la parte superior de la torre de absorción.
- Desplegar en la computadora las mediciones tomadas en la torre de absorción para que estas puedan ser utilizadas por el usuario
- Tener capacidad de adaptarse a una red ZigBee.

III. MARCO TEÓRICO

A. Torre de absorción.

La columna o torre de absorción es un dispositivo simple que consiste en un envolvente en forma de cilindro que tiene en su interior un plato de soporte para el material de empaque, un dispositivo de distribución de líquido, con un diseño tal que proporciona una irrigación eficaz del empaque [15]. Existen muchos tipos de empaques. El empaque que se posee en la torre de absorción de la UVG es un empaque hecho por pedazos de tubos PVC, y sirve para reducir ligeramente el mezclado axial y para empujar y distorsionar las gotas de la fase dispersa. En la Figura No. 62 se muestra un diagrama de la torre de absorción:

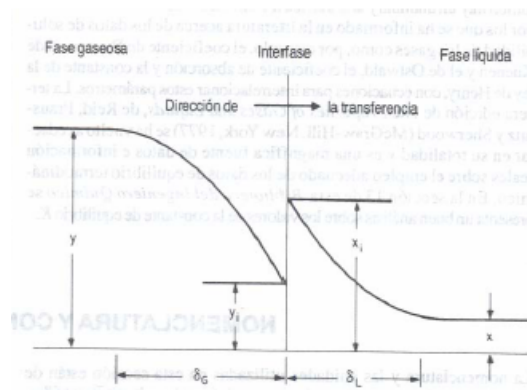
Figura No. 62 Torre de absorción (a) vista general (b) entradas y salidas de la torre



B. Principios de transferencia de masa

Cuando existe una transferencia de material de una fase a otra, a través de la interface que las separa, la resistencia a la transferencia de masa de una fase a otra provoca un gradiente de concentraciones. [15]

Figura No. 2 Interface entre la fase gaseosa y líquida [15]



Estas concentraciones del material que se difunde desde el gas hacia el líquido son diferentes y suponen una relación de equilibrio termodinámico. Por lo tanto, se cree que alcanza ese equilibrio termodinámico en la interface gas-líquido casi inmediatamente que entre en contacto el gas y el líquido. [20]

En los sistemas en donde se tienen concentraciones diluidas tanto en la fase líquida como en la gaseosa, la velocidad de transferencia de masa puede ser expresada por medio de ecuaciones en las que la velocidad de transferencia de masa es proporcional a la diferencia que existe entre la concentración global y la concentración en la interface gas-líquido, con esto podemos obtener:

$$N_A = k'_G(p - p_i) = k'_L(c_i - c)$$

Donde:

$$N_A = \text{velocidad de transferencia de masa}$$

k'_G = coeficiente de transferencia de masa en la fase gaseosa

k'_L = coeficiente de transferencia de masa en la fase líquida

p = presión parcial del soluto en el gas

p_i = presión parcial del soluto en la interface

c = concentración del soluto en el líquido

c_i = concentración del soluto en el líquido de la interface

C. Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos diseñados especialmente para dirigir, empezar, detener, combinar, o regular el flujo, presión, o temperatura de un proceso de fluidos. [16]

Las válvulas pueden ser fabricadas de un gran número de materiales, y la mayoría de válvulas están hechas de acero, hierro, plástico, bronce, o de aleaciones especiales. [16]

D. Transductores

Es el conjunto de elementos necesarios para poder convertir en una señal eléctrica ciertos parámetros que se deseen medir. Por lo general la unidad de control es una computadora digital, por lo que cada magnitud debe ser leída digitalmente de la misma forma; sin embargo, no todos los transductores pueden efectuar la conversión directa a señal digital, sino que algunos proporcionan una señal analógica, que es necesario adaptar un convertidor análogo a digital para que los datos puedan ser interpretados. [17]

Los sensores son un tipo concreto de los transductores que se caracterizan porque son usados para medir la transformación de lo físico a lo eléctrico. La magnitud física que suele ser empleada por los sensores como resultado suele ser la tensión eléctrica. [18]

IV. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

Este trabajo de graduación trata sobre la automatización de la torre de absorción de la UVG y comprende la colocación de sensores y válvulas que estarán controladas por un programa en un computador para poder realizar las distintas funciones de la torre de absorción.

Se investigaron las necesidades que se tenían para la utilización de la torre de absorción en prácticas de Ingeniería Química para realizar un programa eficiente, fácil de utilizar y que cumpliera con las necesidades de control. Este programa tiene por objetivo controlar la torre y dar una retroalimentación, al usuario de los datos que se están tomando constantemente en la torre. Estos datos aparecerán en pantalla y el usuario podrá manipular dicha información.

Se instalaron los sensores y las válvulas en la torre, se calibraron para su funcionamiento óptimo y también se colocó la tarjeta de control para que esta quede funcionando correctamente y se pueda utilizar en el momento que se desee.

Se tendrá la capacidad de adaptarse a una red Zigbee, como también lo hará el módulo de Lector de Termopares, por medio de un protocolo establecido. Con esta comunicación ambos módulos pueden ser controlados por el usuario desde un lugar remoto.

V. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los pasos que se siguieron para realizar la automatización de la torre de absorción son los siguientes:

1. Estudiar los requerimientos para el módulo.
2. Seleccionar los componentes que cumplieran con las necesidades de la clave digital.
3. Encontrar el funcionamiento óptimo de los componentes seleccionados.
4. Desarrollar un software que controle a estos componentes.
5. Desarrollar un software para realizar la interfaz humano-computador.
6. Realizar el circuito impreso en una placa de cobre.
7. Integración de los componentes en la placa de cobre.
8. Instalación de la tarjeta controladora y de los componentes en la torre de absorción de la UVG.

A. Herramientas de trabajo

Las herramientas que se utilizaron para el desarrollo de la automatización de la torre de absorción son:

Mikroelektronika EasyPic4 (programador de PICs)

Software MikroBasic compiler (programador en lenguaje Basic).

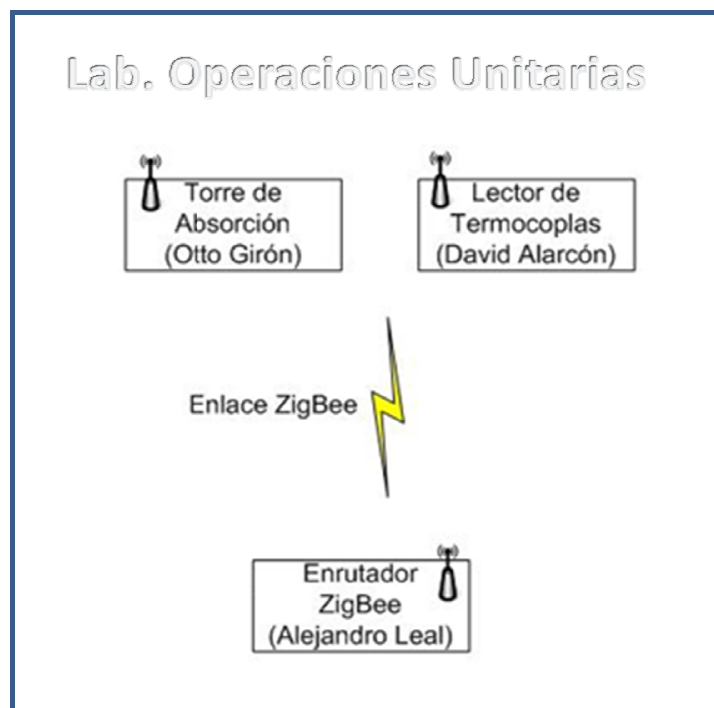
Software CircuitMaker.

Software LabVIEW 8.0: Es un programa que posee un lenguaje desarrollado por National Instruments, el cual permite escribir código de una forma fácil, ya que se realiza de una forma visual, en la cual se van uniendo iconos tienen funciones específicas hasta lograr obtener un sistema complejo.

B. Requerimientos del módulo

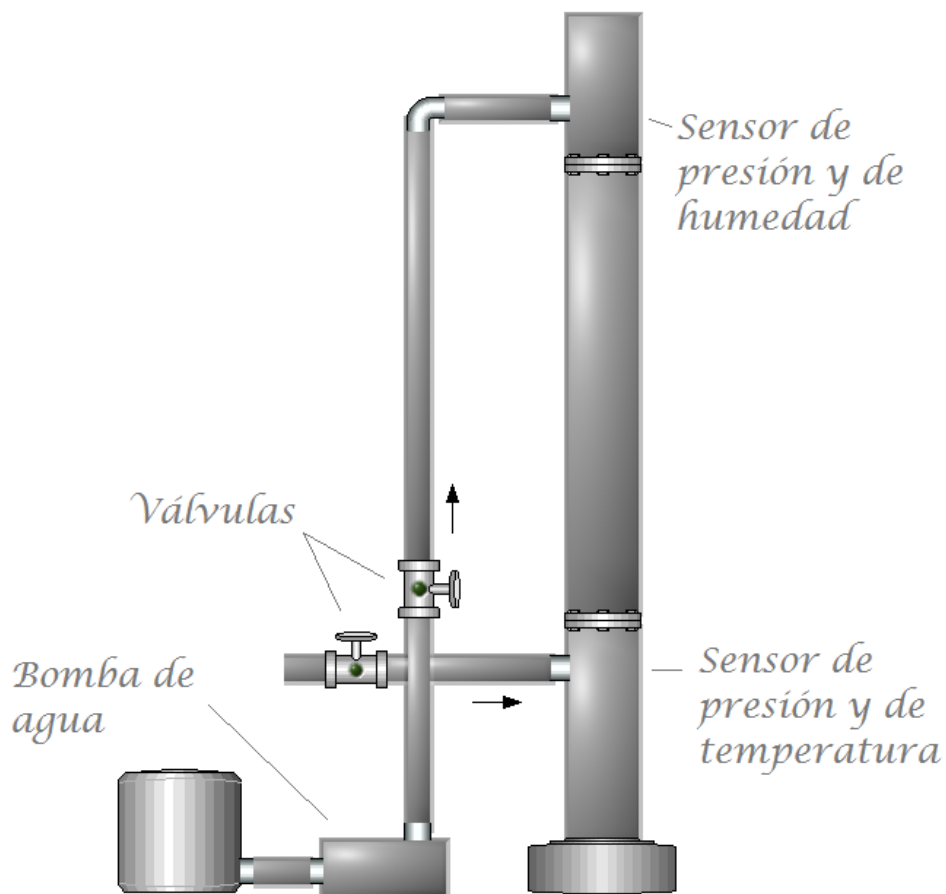
Para el Megaproyecto en el Laboratorio de Operaciones Unitarias se dividió el trabajo en tres distintos módulos como se muestra en el diagrama de la Figura No. 64. Se explicará en este trabajo el modulo de la Torre de absorción.

Figura No. 64 Diagrama de los módulos de Megaproyecto en el Laboratorio de Operaciones Unitarias



Se realizó una investigación de las necesidades que se tenían al momento de realizar prácticas o pruebas en la torre de absorción de la UVG. El resultado fue que lo primordial que se debía de controlar eran los flujos de entrada a la torre de absorción y el funcionamiento de la bomba de agua. Para realizar esto se utilizaran válvulas y un sistema de control para la bomba de agua. También se necesitaba medir la presión de la torre tanto en la parte superior como en la inferior, la temperatura dentro de la torre para poder compararla con la temperatura ambiente y poseer una medición de la humedad en la parte superior. La ubicación en que se necesitaban estos componentes se puede observar en la Figura No. 65.

Figura No. 65 Ubicación de los componentes



C. Selección de componentes

Para realizar la automatización, primero se procedió a seleccionar los componentes básicos que se utilizarían para lograr alcanzar los objetivos deseados.

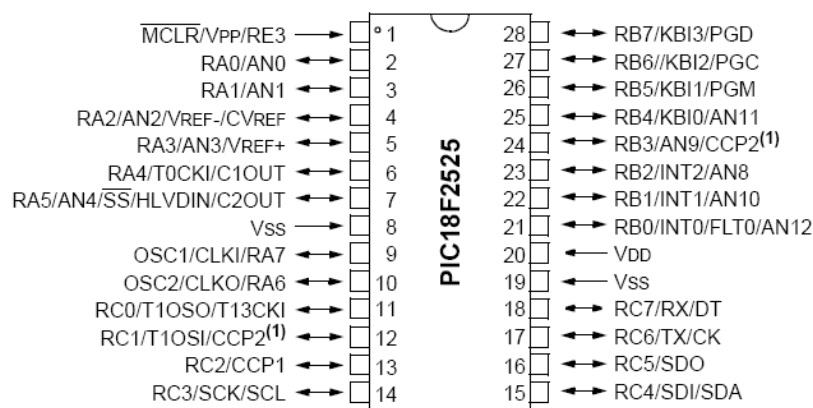
1. Selección del microcontrolador. Se utilizó el microcontrolador PIC18F2525 de la familia de Microchip. Se seleccionó este microcontrolador debido a que posee diez entradas análogas (“Analog-to-Digital Converter”), las cuales son muy necesarias para medir dispositivos análogos como lo son los sensores de presión, sensores de temperatura y el sensor de humedad. Es un microcontrolador que posee bastante memoria con la cual se puede llegar a expandir mucho más el programa si es necesario.

Se manejó una frecuencia de 20 MHz en el reloj del microcontrolador que es su velocidad máxima para poder obtener una respuesta rápida de todo el control que este realiza. Para generar este tren de pulsos se utilizó un oscilador de lógica de transistor transistor (TTL “transistor transistor logic”) de 20 MHz, ya que se obtiene una señal más limpia que la señal de los cristales.

En la configuración del microcontrolador se deshabilitaron las siguientes funciones:

- Watch Dog Timer, WDT
- Power Up Timer, PWRT
- Low Voltage Program, LVP
- In-Circuit Debugger, ICD

Figura No. 66 Pines del PIC18F2525 [19]



2. Dispositivos de entrada y salida. En la presente sección se describen los periféricos utilizados por el microcontrolador para la obtención de los valores de los sensores colocados en la torre de absorción y también los dispositivos que se controlarán para el funcionamiento de la torre.

a. Válvulas. Se utilizaron válvulas de precisión “Stepping Motor Proportioning Valves”, tanto para el control del flujo líquido como el de los gases. Su funcionamiento de operación es continuo. Estas válvulas poseen un conector DB-9 para su control. En la Tabla No. 7 se puede ver la función de cada pin y en la Figura No. 36 se puede ver la forma en que deben estar conectados en el DB-9.

Figura No. 67 Forma de colocación de los pines a) DB-9 macho y b) DB-9 hembra

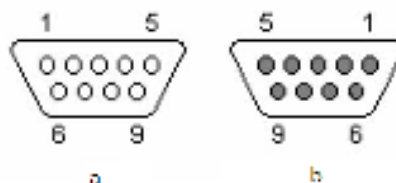


Tabla No. 7 Función de pines de la válvula

Pin	Función
1	Sin utilizar
2	Común de la fuente de poder
3	Control secundario
4	Velocidad del control
5	Sin utilizar
6	Común de la velocidad
7	Purgar válvula
8	Dirección del control
9	Fuente de poder 12V

Tabla No. 8 Código de colores del cable para el conector DB-9

Pin	Color
1	Sin conexión
2	Azul
3	Blanco con azul
4	Naranja
5	Sin conexión
6	Blanco con verde
7	Verde
8	Blanco con café
9	Café

Para lograr el funcionamiento de la válvula, se debe mantener constante el voltaje de alimentación de la fuente de poder de 12 voltios, luego se indica la dirección del movimiento, es decir, si es para abrirse o cerrarse, y finalmente se alimenta la velocidad del control con 2.5 voltios, que es la velocidad máxima que posee la válvula, obteniendo la mayor eficiencia de esta. La válvula posee dos

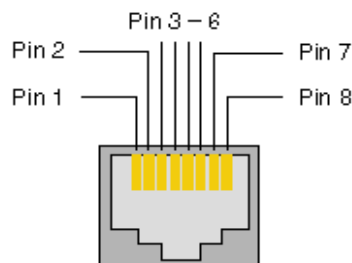
LED's, el primero es de color verde indica que la válvula se encuentra totalmente cerrada. Esta debería ser la primera posición en que se encuentre la válvula al momento de iniciar el funcionamiento del sistema. El segundo LED es de color rojo e indica que la válvula se encuentra totalmente abierta.

La interfaz de comunicación para el usuario con el sistema controlador, es por medio de un conector RJ-45 el cual se encuentra en el orden que se muestra en la Tabla No. 4 según se muestra en la Figura No. 68.

Tabla No. 9 Orden de conexión con el RJ-45

Pin	Función
1	Común de la fuente de poder
2	Control secundario
3	Velocidad del control
4	Sin función
5	Común de la velocidad
6	Purgar válvula
7	Dirección del control
8	Fuente de poder 12V

Figura No. 68 Pines del RJ-45



Características de operación:

- Máximo flujo de líquidos: 1000 sL/min; 2119 scfh
- Máximo flujo de gases: 28 L/min; 7.4 GPM
- Máximos psi: 500 psig
- Máximo diferencial de presión en líquidos y gases: 40psig

b. Sensor de presión. Se utilizaron los sensores de presión Fujikura FPM-07PG, el cual mide presiones gausinas y sus mediciones de presión son al vacío.

Se utilizó un amplificador operacional para corregir e incrementar la salida del sensor. Se corrigió la señal del sensor debido a que su referencia no era la misma que la referencia del sistema, por lo que en la configuración del amplificador operacional que se muestra en la Figura No. 69, realiza ambas funciones: primero, el voltaje de referencia del sensor lo coloca en la referencia del sistema, y segundo, amplifica la señal de salida del sensor para poder observar el cambio de esta con más facilidad. La ecuación resultante de la configuración del opamp que se muestra en la Figura No. 69, es $V_{out} = 40 \cdot (V_{in} - V_{ref})$.

Figura No. 69 Configuración del amplificador operacional

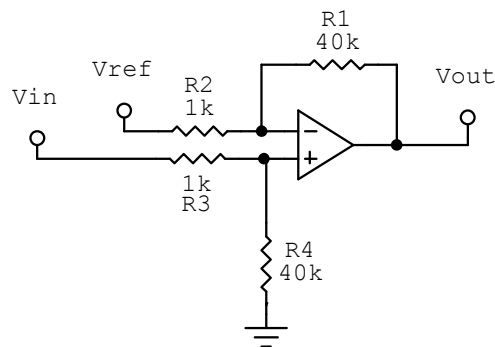


Figura No. 70 Circuito del sensor de presión [20]

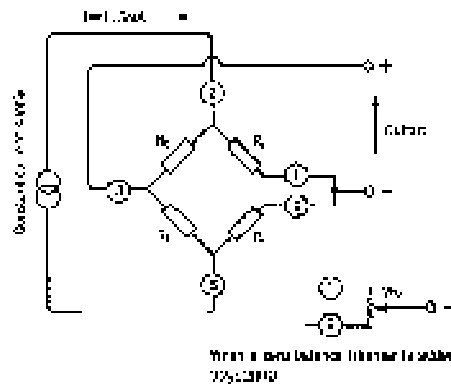
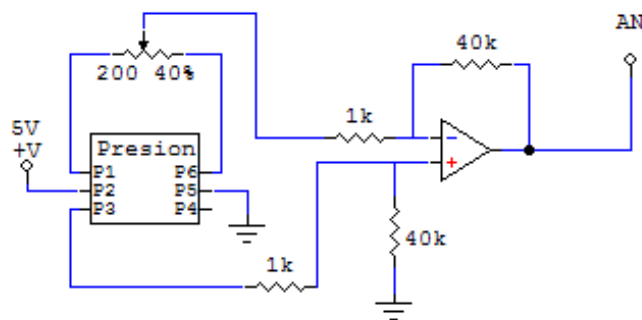


Figura No. 71 Circuito para el sensor de presión

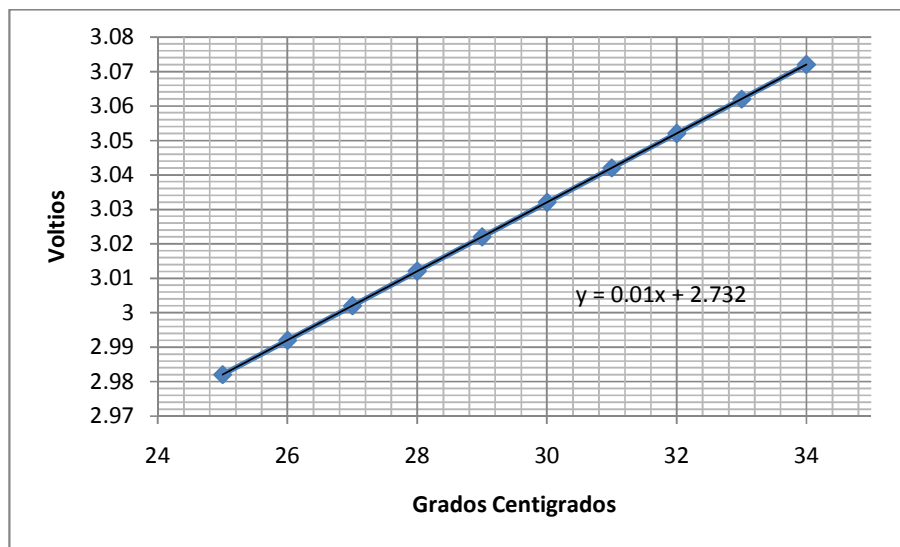


Características de operación:

- Rango de presión: 0-7 psi
- Presión máxima tolerada: 10.5 psi
- Corriente de excitación: 1.5 mA
- Resistencia del puente: $5k\Omega \pm 1k\Omega$
- Temperatura de operación: -20 a 100 grados centígrados
- Rango de temperaturas con compensación: 0 a 50 grados centígrados
- Compatibilidad con el medio: líquidos y gases no corrosivos
- Precisión: $\pm 0.5\%$ a plena escala

c. Sensor de temperatura. Se utilizó el sensor de temperatura LM335, es cual es un diodo Zener que ofrece una salida con un voltaje proporcional a la temperatura y una variación de 10 mV por grado Kelvin. Este sensor se puede calibrar por medio de un potenciómetro para que su precisión sea mejor. La calibración es a 25 grados centígrados y se debe de obtener 2.982 voltios. En la Figura No. 72 se puede observar la gráfica utilizada para su calibración y su ecuación de regresión lineal.

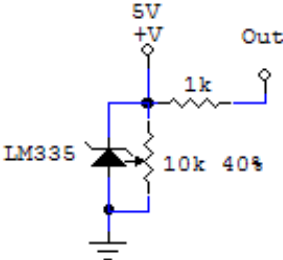
Figura No. 72 Gráfica teórica de Grados Centígrados vrs. Voltaje



Características de operación:

- Rango de operación: -20 a 100 grados centígrados
- Voltaje de salida: 10 mV/°K
- Corriente de operación: 0.4 a 5 mA

Figura No. 73 Circuito para el sensor de temperatura



d. Sensor de humedad. Se utilizó el sensor de humedad HIH4000 que posee una salida lineal de voltaje dependiendo de la humedad a la que se encuentre sometido. Es un sensor de alta precisión, de respuesta rápida en el tiempo y resistente a químicos. Su calibración se debe realizar con 5 voltios y a 25 grados centígrados. Se utilizó la curva característica del sensor que se muestra en la Figura No. 74 para realizar la calibración, la ecuación de regresión lineal obtenida fue $y = 0.0304x + 0.8171$.

Figura No. 74 Curva característica del sensor de humedad [21]

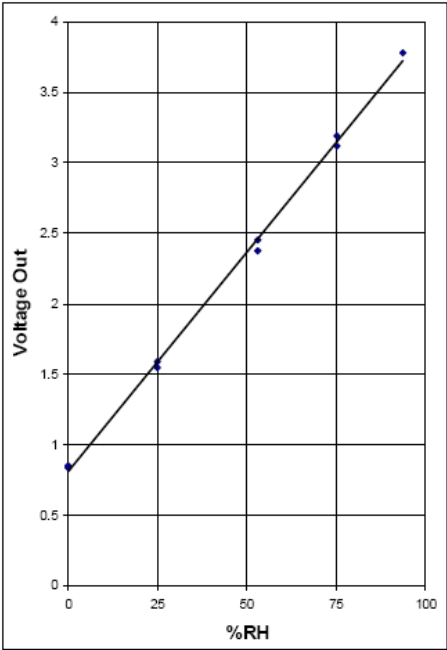


Tabla No. 10 Voltajes obtenidos según el %RH

%RH	Voltios
0	0.8
25	1.6
52	2.4
75	3.1
95	3.7

En la Figura No. 75 se muestra la zona recomendada de operación del sensor de humedad HIH4000. Esta zona cumple con los requisitos de operación de la torre de absorción de la Universidad del Valle de Guatemala debido a que su temperatura normal de funcionamiento va de -10 grados centígrados hasta 40 grados centígrados.

Figura No. 75 Zona recomendada de operación [21]

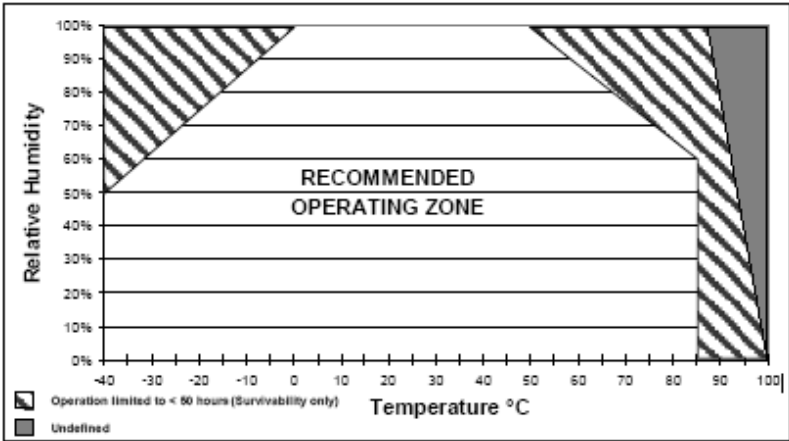
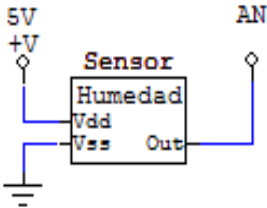
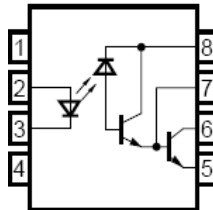


Figura No. 76 Circuito para el sensor de humedad



e. Circuito para la bomba de agua. La bomba de agua es un motor AC que hace circular el agua hacia la parte superior de la torre de absorción. Este motor funciona con una alimentación de 220 voltios. Es conveniente aislar el sistema controlador del motor para que este no se dañe por alguna retroalimentación de un voltaje alto. Para realizar este aislamiento se utilizó una optocopla 6N139, que posee alta sensibilidad a los cambios de luz en el LED y es un dispositivo de alta velocidad, su diagrama interno se observa en la Figura No. 77.

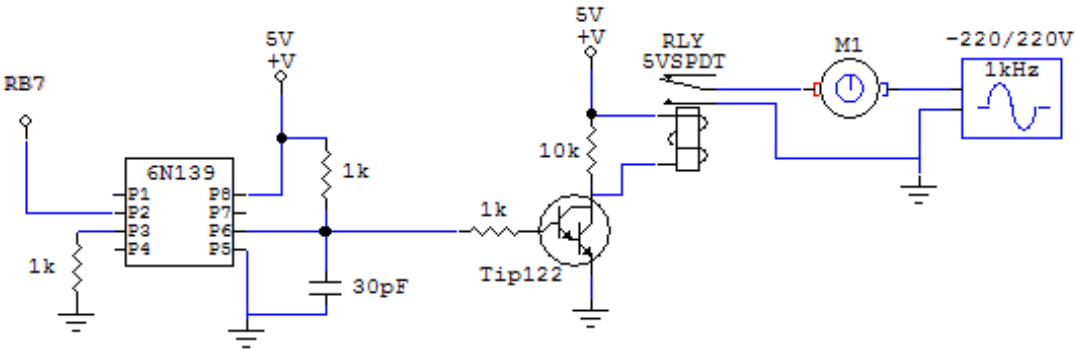
Figura No. 77 Diagrama interno de la optocopla [22]



Teniendo aislado el sistema se procedió a colocar un transistor de potencia en el circuito para que funcionara como un switch. El transistor de potencia utilizado fue el TIP122. Se utilizó un transistor de potencia debido a que su función es activar un relé, por lo que necesita pasar suficiente corriente para energizar el electroimán.

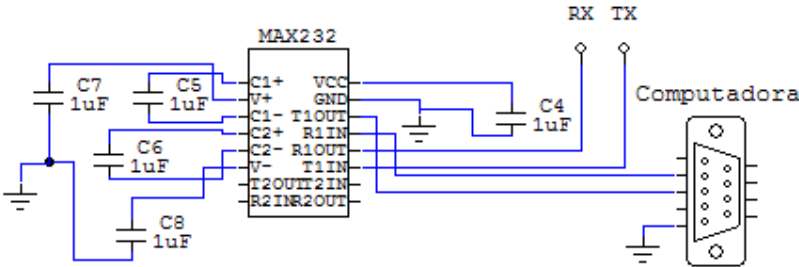
El relé es el componente que une este subsistema con el circuito del motor AC. Al activar el relé este hace un cortocircuito en la alimentación del motor haciendo que este se encienda. El circuito del optocopla, el transistor de potencia y el relé se muestra en la Figura No. 78.

Figura No. 78 Circuito para prender la bomba de agua



f. Conexión Serial. Se utilizó la interfaz serial del microcontrolador para realizar la comunicación con el programa de la computadora. Se estableció una velocidad para serial de 9600 bps. Cada dato transmitido será de 8 bits. Debido a que la computadora utiliza otros voltajes tanto de transmisión como de recepción, se utilizó el componente MAX232 para interconectar con el microcontrolador. El circuito utilizado se muestra en la Figura No.79.

Figura No. 79 Circuito de conexión serial entre computadora y microcontrolador

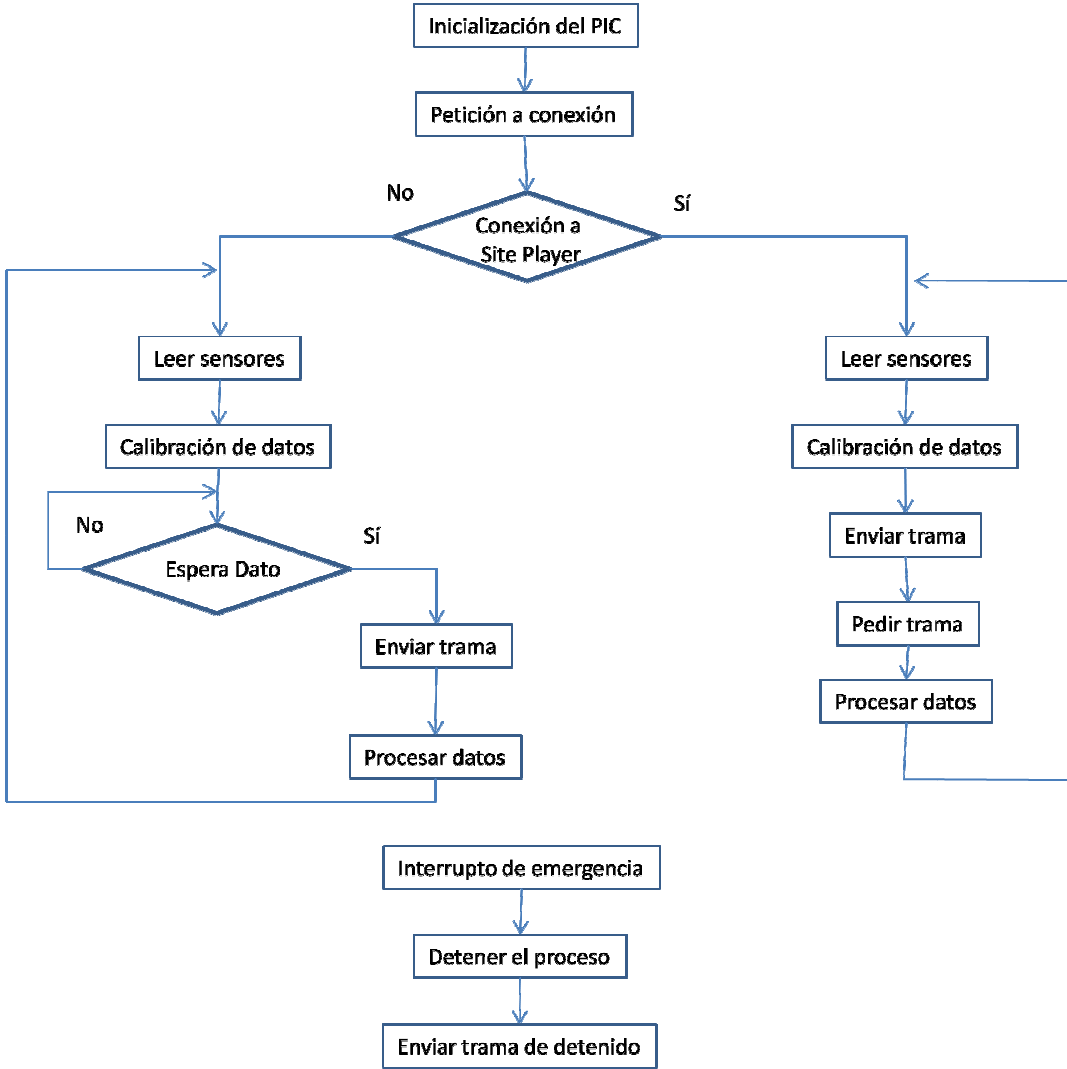


g. Elaboración del circuito impreso. En el apéndice C se muestra el circuito elaborado en Circuit Maker 2000. Con este programa se creó un archivo para elaborar el circuito impreso (PCB “Printed circuit board”).

El circuito impreso se elaboró con los archivos tipo Gerber y de barrenado

recibir datos para mantener en constante actualización todos los valores obtenidos de los dispositivos. El segundo tipo de comunicación es con SitePlayer para mantener actualizados los datos de la red y poder recibir datos de esta. En la Figura No. 81 se muestra el diagrama de flujo de este programa.

Figura No. 81 Diagrama de flujo del programa del microcontrolador



1. Funcionamiento. Lo que realiza el programa son las siguientes funciones:

a. Leer datos de los sensores. El microcontrolador toma los valores que se encuentran en sus entradas análogas y las transforma a un valor digital. De esta forma se obtiene la información de cada sensor.

b. Recibir datos del computador. El microcontrolador recibe información de la computadora para saber si debe mover alguna válvula en cierta dirección o si debe encender o apagar la bomba de agua. Para la recepción se activa un interrupto al momento de tener un dato en el serial, éste se lee y se continúa con el programa. Se realiza esta operación hasta el momento en que la trama se completa.

c. Calibrar datos. Debido al protocolo que se está utilizando (este se explicará más adelante), los datos deben ser truncados para que el valor máximo que pueda tener sea de 253 de los 255 valores posibles.

d. Enviar datos. El microcontrolador envía una trama de datos que contiene los valores obtenidos al leer los sensores.

e. Control. El microcontrolador es el que manda la señal de encender o apagar la bomba de agua dependiendo de la información que sea recibida. También controla que tanto debe de ser movilizada la válvula y en qué dirección lo debe de hacer, basado en la información recibida.

2. Detenido de emergencia. El panel de control posee un botón el cual se usará en caso de emergencia, el cual al ser presionado el microcontrolador detendrá automáticamente el funcionamiento de la bomba de agua y cerrará las válvulas. El computador recibirá que el estado del microcontrolador fue detenido de forma de emergencia el cual también indicará que se ha realizado esta acción. Para volver a tomar el control sobre la torre de absorción luego de haber presionado el botón de emergencia, es necesario reiniciar el microcontrolador.

3. Protocolo interno. Consiste en enviar una trama de bytes y esperar otra de recepción. Sucede este ciclo hasta que el sistema sea detenido. Para inicializar la conversación, el microcontrolador envía su trama de primero para avisar que este

se encuentra activo, el computador responde una trama y al realizar esto ambos programas empiezan su funcionamiento de rutina.

Para enviar se transmite la siguiente trama:

- 1 byte de inicio con valor de 254 en decimal.
- 1 byte del proyecto ID, para este modulo será el número uno.
- Bytes de datos.
- 1 byte de fin de trama con valor de 255 en decimal.

Figura No. 82 Trama a enviar

Byte de inicio	Byte del ID	Bytes de datos				Byte de fin
254	#	D1	D2	...	Dx	255

Se transmitirá cinco bytes de datos, los cuales son los valores que se han tomados de los convertidores análogos a digital, que poseen el valor de los sensores.

Para la recepción de datos se espera la siguiente trama:

- 1 byte de inicio con valor de 254 en decimal.
- Bytes de datos

Figura No. 83 Trama a recibir

Byte de inicio	Bytes de datos			
254	D1	D2	Dx

Se espera recibir tres bytes de datos, dos que indiquen la posición deseada de las válvulas y el tercero que indique si la bomba debe estar apagada o prendida.

4. Protocolo con SitePlayer. Protocolo secundario de comunicación con SitePlayer para la conexión con un lugar remoto.

Posee la trama que se muestra en la Figura No. 84.

Figura No. 84 Trama para el protocolo SitePlayer

Inicio	ID	Total Tramas	# Trama	Datos	Fin
254	1 Byte	1 Byte	1 Byte	D1 ... D11	255

Descripción de tramas

- Inicio trama (254): Toda transmisión empieza con el byte 254.
- ID Proyecto (1 Byte): Identificador único de proyecto. Dos proyectos que utilicen la página y por consiguiente el protocolo no pueden tener el mismo ID de proyecto.
- Total tramas: Número total de tramas que utilizará el proyecto, por ejemplo, 2 tramas de envío, 1 trama de recepción y 1 trama de error hacen un total de tramas de 4.
- # trama: El número de la trama que se está enviando. Siempre hay que empezar con las tramas de envío, luego se enumeran las de recepción y por último la de error.
- Datos: Hasta 11 Bytes de datos en un solo envío/recepción.
- Fin trama: Toda transmisión termina con el byte 255.

La trama de error se muestra en la Figura No. 85.

Figura 85 Trama de error para el protocolo SitePlayer

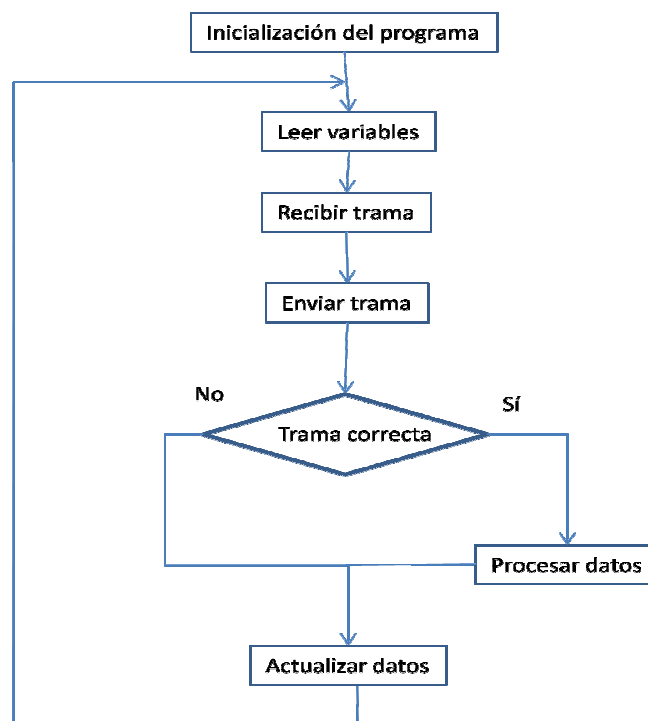
Inicio	ID	Total Tramas	# Trama	Dato	Fin
254	1 Byte	1 Byte	1 Byte	253	255

5. Reiniciar el microcontrolador. Para realizar esto se debe de presionar el botón de reiniciar que se encuentra en el panel de control. Este procedimiento se encuentra diseñado para dos funciones: a) al momento de detener el funcionamiento por una emergencia, se necesita para volver a tomar el control y b) para quitar la conexión con el computador y conectarse a la red Zigbee o viceversa.

E. Programa en lenguaje de LabView

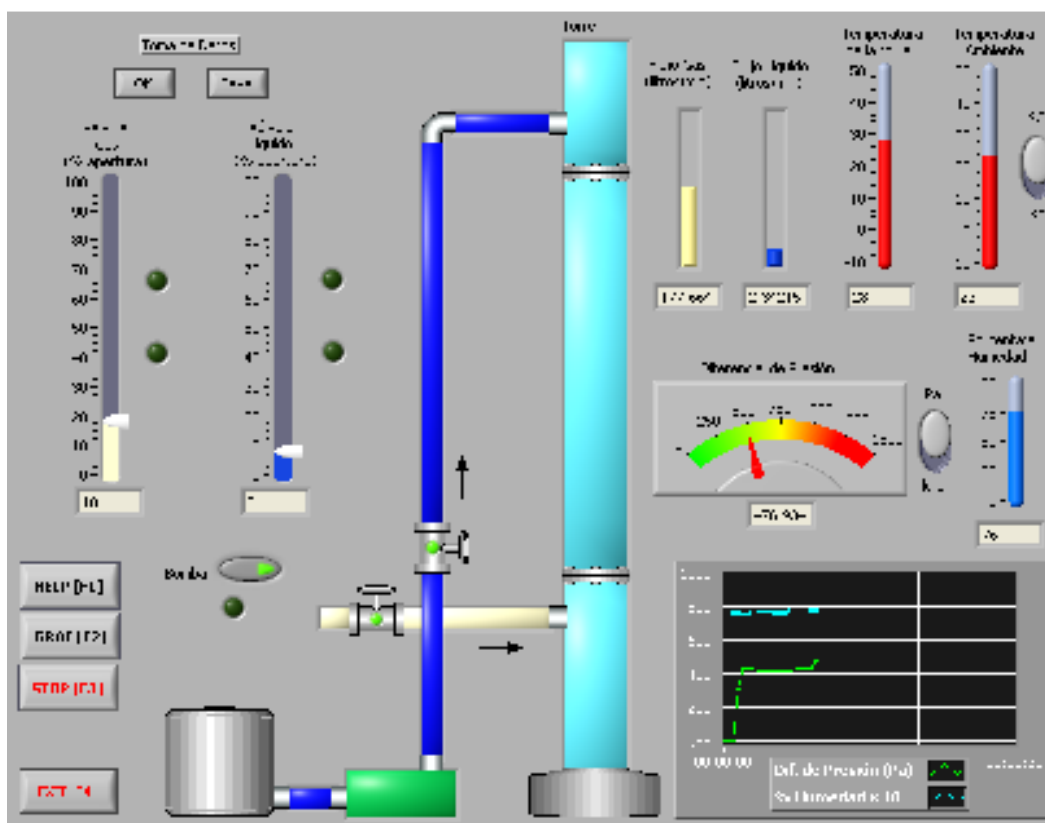
Este programa fue creado para controlar desde la computadora el sistema de funcionamiento de la torre de absorción. Este programa mantiene la comunicación con el microcontrolador y posee un interfaz amigable para que el usuario pueda tomar el control del funcionamiento de la torre. El diagrama de flujo del funcionamiento que realiza este programa se muestra en la Figura No. 86.

Figura No. 86 Diagrama de flujo del programa del computador



Se puede dividir el programa en tres partes, a) en medio se encuentra la imagen de la torre de absorción, b) del lado izquierdo se encuentran los controles que puede manipular el usuario y c) del lado derecho están los indicadores de los sensores. Se puede ver en la Figura No. 87 cómo se encuentran distribuidas estas partes.

Figura No. 87 Presentación del programa

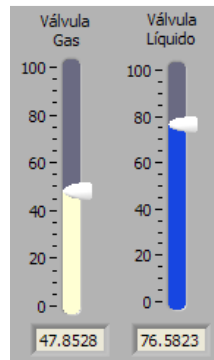


1. Control por parte del usuario. El usuario puede controlar cuatro cosas en este programa, y a continuación se explicará cada una de ellas.

a. Control de las válvulas. Hay dos barras, la primera que controla la válvula de los gases y la segunda, la de los líquidos, en las cuales se puede colocar el porcentaje de apertura de cada válvula. Cero indica que la válvula estará totalmente cerrada y 100 que estará totalmente abierta. En la parte inferior

de cada barra se mostrará el porcentaje en que se han colocado cada una de éstas.

Figura No. 88 Barras para el control de las válvulas



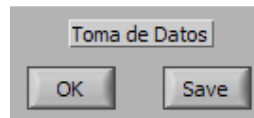
b. Control sobre la bomba de agua. El botón con la etiqueta de bomba tiene la función de encender o apagar la bomba de agua. Al momento de presionar este botón y prender la bomba, se encenderá un indicador de color verde que se encuentra dentro del botón.

Figura No. 89 Botón para prender o apagar la bomba de agua



c. Toma de datos. Esta sección se implementó para que el usuario pueda ir tomando los datos de las variables medidas para que al terminar de realizar la práctica o el experimento pueda manipular estos datos. Para tomar los datos se debe de presionar el botón de “OK”. En cualquier momento que se realice esta acción los datos se guardarán en memoria virtual. Al finalizar de tomar los datos, se deben guardar en un archivo. Para realizar esto se debe presionar el botón de “Save” y se abrirá una nueva ventana en donde el usuario podrá colocar el nombre del archivo y la ubicación de donde quiera guardarlo.

Figura No. 90 Botones para la toma de datos



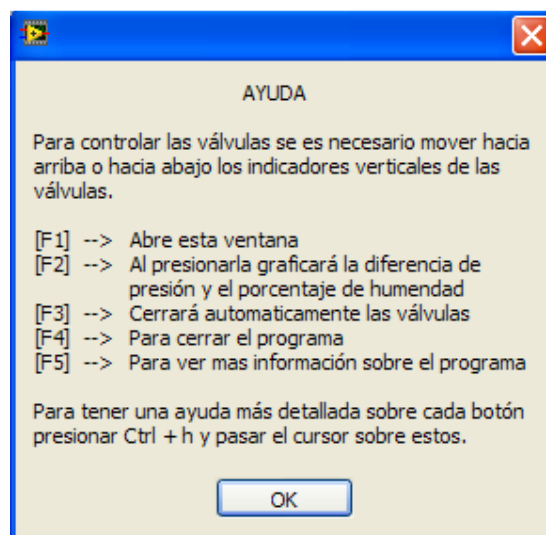
d. Botones de opciones variadas. De lado inferior izquierdo se encuentran 5 botones que se muestran en la figura No. 91, los cuales realizan las siguientes funciones:

Figura No. 91 Botones para las opciones



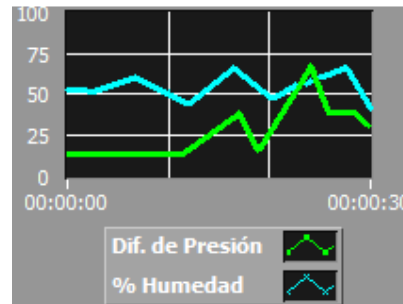
- **Help:** muestra el mensaje de la Figura No. 92, en donde le da una ayuda de cómo utilizar el programa.

Figura No. 92 Mensaje mostrado al presionar Help



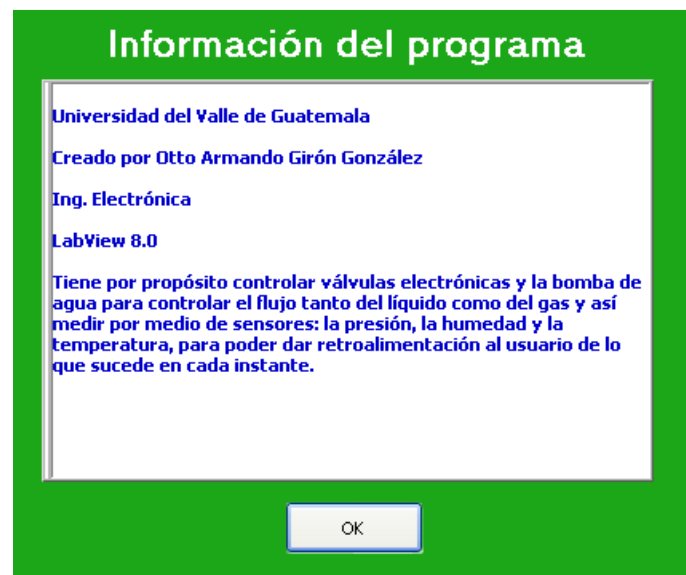
- **Graf:** al presionar este botón aparece del lado inferior derecho una gráfica que muestra la variación de la presión y de la humedad a través del tiempo.

Figura No. 93 Gráfica mostrada al presionar Graf



- **Stop:** detiene automáticamente el flujo que pasa a través de las válvulas, cerrándolas y apagando la bomba de agua.
- **Info:** muestra información sobre el programa y su autor. Se muestra en la Figura No. 94.

Figura No. 94 Mensaje mostrado al presionar Info



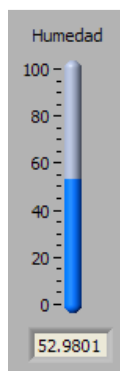
- **Exit:** termina el funcionamiento del programa, a la vez cierra las válvulas y apaga la bomba, para que se pueda realizar una práctica o experimento nuevo.

2. Retroalimentación al usuario. Es de gran importancia ya que se posee un sistema de control. Se es necesaria la retroalimentación para poder lograr un buen funcionamiento de la torre de absorción. La retroalimentación posee las siguientes partes:

a. Imagen de la torre de absorción. Posee varios indicadores, los primeros se encuentran en el dibujo de las válvulas, estas tienen un pequeño LED verde que se enciende al momento que la válvula se abra. Los otros indicadores se encienden cuando hay un flujo pasando a través de ellos, la tubería del aire se prende de color amarillo, la de agua de color azul, y al momento de cualquiera de estos dos flujos llegue a la torre de absorción, esta se prende de color celeste.

b. Indicador de humedad. Se muestra el porcentaje de humedad de la parte superior de la torre de absorción en su barra indicadora de color azul, como en la parte inferior se muestra el dato exacto.

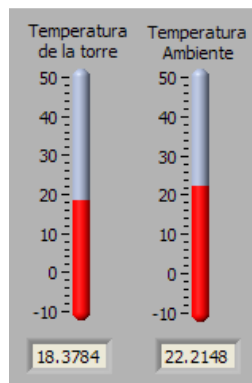
Figura No. 95 Indicador del porcentaje de humedad



c. Indicadores de temperatura. Estos muestran la temperatura a la que se encuentran los sensores a cada momento. El indicador del lado izquierdo de la

Figura No. 86 muestra la temperatura dentro de la torre, el indicador del lado derecho muestra la temperatura ambiente a la que se encuentra el Laboratorio de Operaciones Unitarias. Los indicadores muestra la temperatura en grados Centígrados.

Figura No. 96 Indicadores de temperatura



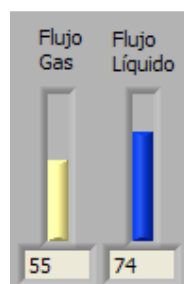
d. Indicador del diferencial de presión. Muestra la diferencia de presión que hay dentro de la torre, de la parte inferior menos la superior, ya que siempre se tendrá una presión mayor en la parte inferior de la torre. Esta medición se encuentra en kPa.

Figura No. 97 Indicador del diferencial de presión



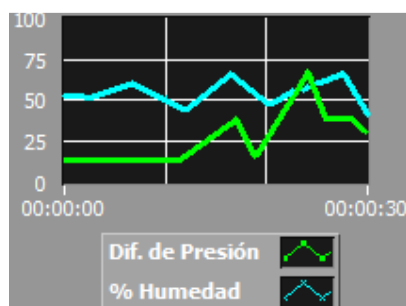
e. Indicadores de flujo. Muestran el porcentaje de flujo que está entrando a la torre de absorción. Como se muestra en la figura No. 98, el indicador de la izquierda es del flujo de gas y el de la derecha del líquido.

Figura No. 98 Indicadores de flujo



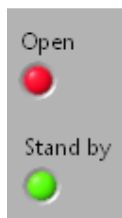
f. Gráfica. Muestra al diferencial de presión y el porcentaje de humedad a través del tiempo, para que el usuario pueda ver la variación de estos parámetros. La gráfica muestra los últimos treinta segundos, por lo que posee un movimiento en el eje del tiempo para mostrar este cambio de una forma sencilla.

Figura No. 99 Gráfica del diferencial de presión y porcentaje de humedad



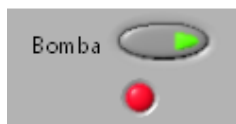
g. Retroalimentación del microcontrolador. Entre la trama de datos se envía un código con el cual el programa del computador lo interpreta para saber el estado de las válvulas y de la bomba de agua. En la Figura No. 100 se muestra los indicadores de cada válvula. El indicador de arriba se encenderá de color rojo al momento de que la válvula se encuentre abierta, sin importar su porcentaje de apertura y tendrá sobre este el mensaje de “Open”. Si ésta se encuentra cerrada el indicador estará apagado y de color verde oscuro. El indicador de debajo de la Figura No. 100 estará encendido cuando la válvula se encuentre al porcentaje de apertura deseado, con un color verde claro y con un mensaje de “Stand by”. Si la válvula se encuentra en movimiento, el indicador se apagará colocándose de color verde oscuro y ocultara el mensaje.

Figura No.100 Indicadores del estado de las válvulas



En la Figura No. 101 se muestra el botón de control de la bomba de agua, explicado anteriormente, este posee un indicador que al momento de que la bomba sea encendida el microcontrolador le indica al computador que se ha realizado la acción, por lo que si el indicador se encuentra de color rojo la bomba de agua se encuentra encendida, si se encuentra de color verde oscuro la bomba de agua estará apagada.

Figura No. 101 Indicador del estado de la bomba de agua



3. Ayuda al usuario. Los botones y los indicadores poseen un “Tip”, que dice en pocas palabras su funcionamiento. Para obtener este mensaje, se debe colocar el cursor sobre el objeto que se tenga duda y este mostrara al lado del cursor la ayuda.

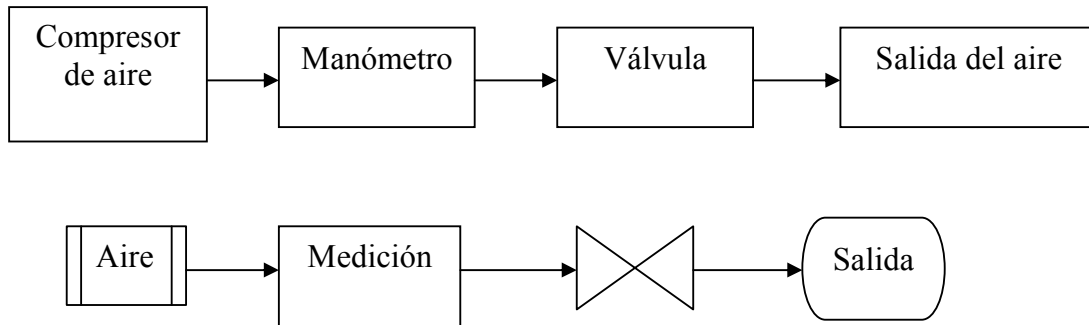
Otra ayuda es que el usuario puede presionar las teclas Ctrl + h y aparecerá una ventana en el programa en donde al pasar el cursor sobre cada objeto, se desplegará el funcionamiento de una forma más detallada. Esta ayuda se le indica al usuario al presionar el botón Help explicado anteriormente.

F. Diseño de pruebas

1. Flujo de gas. Se colocó el compresor de aire instalado en el Laboratorio de

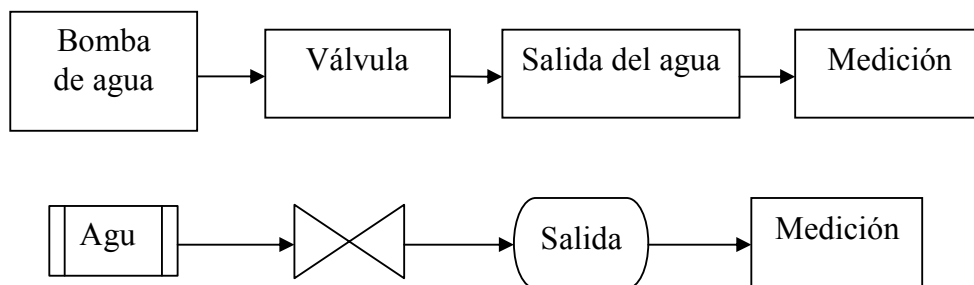
Operaciones Unitarias para calcular el flujo a través de la válvula según su porcentaje de apertura. Se utilizó el manómetro que se encuentra instalado en la torre de absorción para medir el flujo. Este manómetro puede tomar mediciones desde 30 a 280 litros/min, por lo que se tomaron medidas para ese rango de flujo.

Figura No. 102 Orden del sistema para la prueba del flujo de gas



2. Flujo de agua. Se utilizó la bomba de agua instalada en la torre de absorción, colocando el flujo máximo de esta, es decir sin que interfiriera otra válvula al paso del agua. Se varió el porcentaje de apertura de la válvula y a la salida de la tubería se tomando el agua y se tomó el tiempo de llenado de 8 litros de agua.

Figura No. 103 Orden del sistema para la prueba del flujo de agua



3. Sensores de presión. Se realizaron dos pruebas:

a. Compresor de aire. Se colocaron a los sensores de presión cuatro

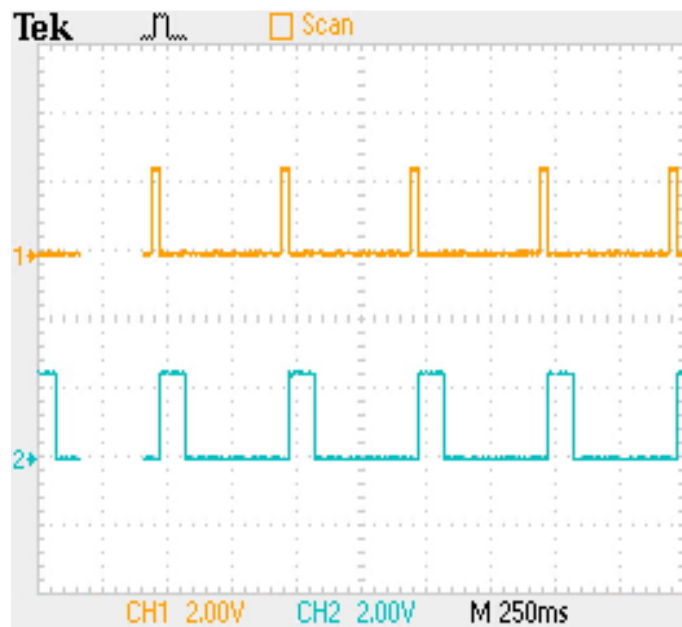
distintas presiones, por medio de un compresor de aire ubicado en el laboratorio de mecánica de la UVG, que posee un medidor de presión, para obtener distintos valores de voltaje obteniendo una ecuación por medio de una regresión lineal para la calibración de los sensores.

b. Torre de absorción. Con los sensores de presión instalados en la torre de absorción, se realizaron pruebas para obtener el voltaje de cada uno de estos. Se midió el diferencial de presión por medio de un manómetro.

VI. RESULTADOS

Para realizar el movimiento de las válvulas se utilizó un tren de pulsos para colocar la válvula en el lugar deseado. En la Figura No. 104 se muestra en la parte superior la primera señal de color amarillo el tren de pulsos que se le manda a la válvula de gas y la segunda señal de color celeste para la válvula de agua. La duración del pulso para la válvula de gas es de 33 ms y la duración del pulso para la válvula de agua es de 97 ms.

Figura No. 104 Tren de pulsos para el movimiento de las válvulas



A. Pruebas del flujo de aire

Se realizaron distintas pruebas con las válvulas colocadas en la torre de absorción. Se introdujo aire con distintas presiones a la válvula de gas para calcular litros/min según el porcentaje de apertura de la válvula.

Al introducir el flujo máximo de aire que se posee en la torre de absorción de UVG, se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla No. 11 y su gráfica se muestra en la Figura No. 105. Se obtuvo un factor de correlación R de 0.9993 y una ecuación de regresión lineal $y = 14.69 x - 83.46$.

Al introducir un flujo de aire de 280 litros/min hacia la válvula, se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla No. 11 y su gráfica se muestra en la Figura No. 105. Se obtuvo un factor de correlación R de 0.9958 y una ecuación de regresión lineal $y = 11.84 x - 48.93$.

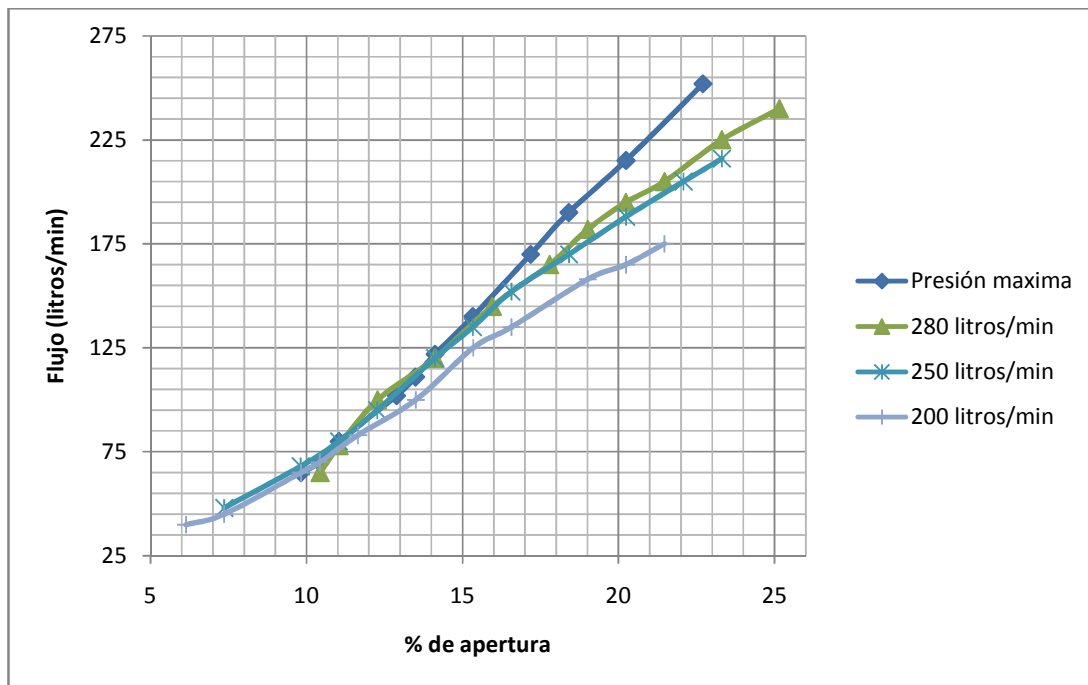
Al introducir un flujo de aire de 250 litros/min hacia la válvula, se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla No. 11 y su gráfica se muestra en la Figura No. 105. Se obtuvo un factor de correlación R de 0.9978 y una ecuación de regresión lineal $y = 11.03 x - 36.74$.

Con un flujo de aire de 200 litros/min hacia la válvula, se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla No. 11 y su gráfica se muestra en la Figura No. 105. Se obtuvo un factor de correlación R de 0.9961 y una ecuación de regresión lineal $y = 9.414 x - 24.11$.

Tabla No. 11 Valores comparativos del porcentaje de apertura vrs. el flujo

Presión Máxima		280 litros/min		250 litros/min		200 litros/min	
% apertura	litros/min	% apertura	litros/min	% apertura	litros/min	% apertura	litros/min
9.815	65	10.43	65	7.36	48	6.13	40
10.42	70	11.04	78	9.81	68	7.36	45
11.04	80	12.27	100	11.04	80	9.816	65
12.88	102	14.11	120	12.26	95	10.42	70
13.49	111	15.95	145	14.11	120	11.65	83
14.11	122	17.79	165	15.33	135	13.5	100
15.33	140	19.01	182	16.56	152	15.34	125
17.18	170	20.24	195	18.41	170	16.56	135
18.4	190	21.47	205	20.24	188	19.01	158
20.24	215	23.31	225	22.08	205	20.24	165
22.7	252	25.15	240	23.31	216	21.47	175

Figura No. 105 Gráfica comparativa del porcentaje de apertura vrs. el flujo



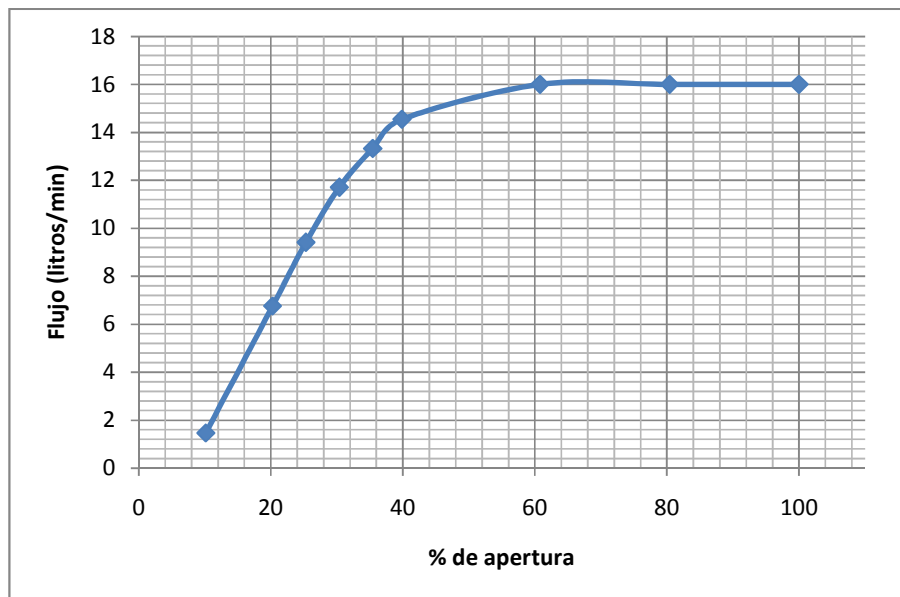
B. Pruebas del flujo de agua

Se colocó el flujo máximo de agua, con esto se obtuvieron los resultados de la Tabla No. 12 y su respectiva gráfica que se muestra en la Figura No.96.

Tabla No. 12 Valores de flujo según el porcentaje de apertura de la válvula con entrada de flujo máximo de agua

GPM	%	tiempo	litros/s	litros/min
0.5	10.13	327	0.024465	1.46789
2.8	20.25	71	0.112676	6.760563
3	25.32	51	0.156863	9.411765
4	30.37	41	0.195122	11.70732
4.5	35.44	36	0.222222	13.33333
4.8	39.87	33	0.242424	14.54545
mayor a 5	60.75	30	0.266667	16
mayor a 5	80.38	30	0.266667	16
mayor a 5	100	30	0.266667	16

Figura No. 106 Gráfica de flujo vrs. el porcentaje de apertura de la válvula con entrada de flujo máximo de agua



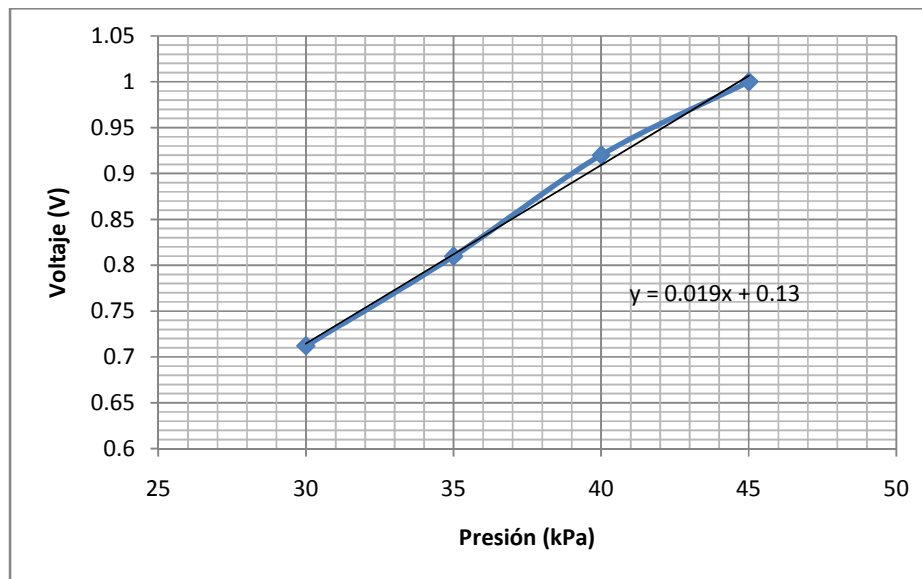
C. Pruebas sensores de presión

1. Prueba con compresor de aire. Los valores de entrada y salida se muestran en la Tabla No. 13. Con estos valores se obtuvo la gráfica que se muestra en la Figura No. 97, y se consiguió un factor de correlación R de 0.9982, el cual es bastante cercano a uno, por lo que se puede decir que se obtuvo una gráfica muy cercana a una lineal. La ecuación de la regresión lineal es $y = 0.0195x + 0.13$.

Tabla No. 13 Valores de voltaje respecto a la presión

kPa	V
30	0.712
35	0.81
40	0.92
45	1.00

Figura No. 107 Grafica experimental de Presión vrs. Voltaje



Luego se tomó la grafica teórica que posee el sensor y se procedió a realizar el mismo procedimiento, con los puntos que se muestran en la Tabla No. 15. Se convirtió de g/cm^2 a kPa para obtener una gráfica (ver Figura No. 98) con las mismas dimensionales a la que se obtuvo en la parte experimental.

Figura No. 108 Gráfica teórica de presión vr. voltaje [14]

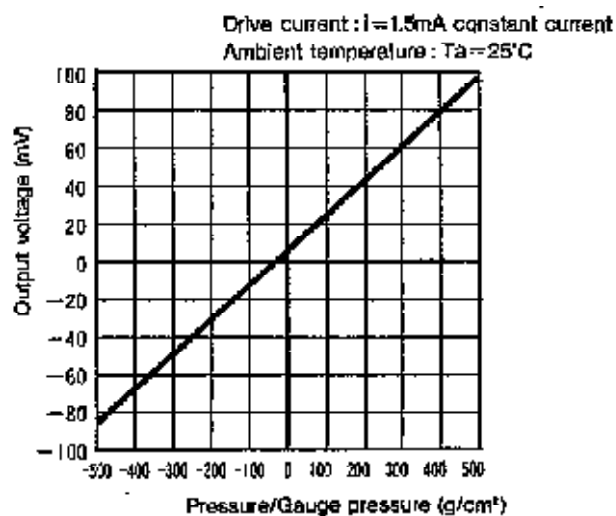
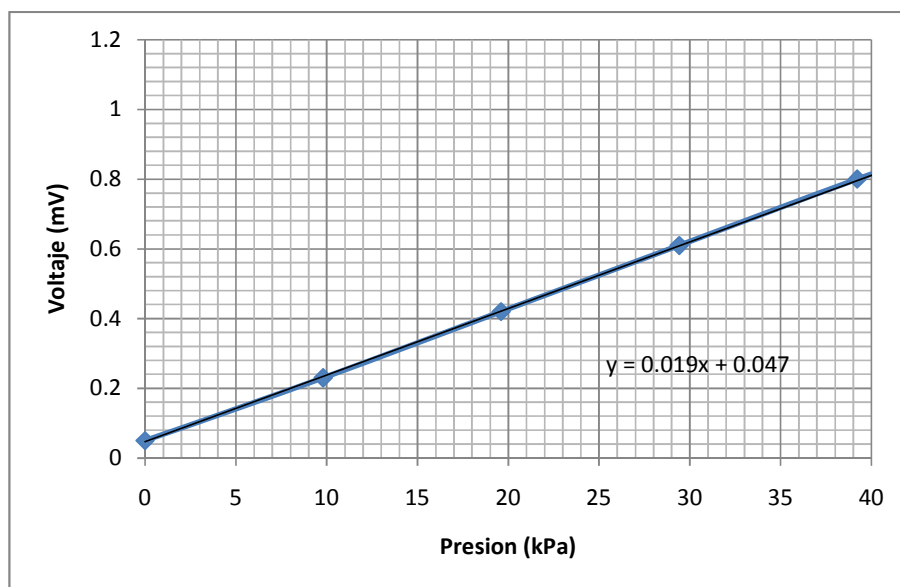


Tabla No. 14 Valores teóricos de voltaje para la presión

g/cm ³	kPa	mV
0	0	0.05
100	9.80665	0.23
200	19.6133	0.42
300	29.41995	0.61
400	39.2266	0.8
500	49.03325	0.98

Figura No. 109 Gráfica teórica de presión vs. voltaje



La ecuación de regresión lineal de la gráfica teórica es $y = 0.0191x + 0.0471$. Se puede observar que las ecuaciones de regresión lineal son muy similares, el cambio se debe a la amplificación que se agregó en la parte experimental.

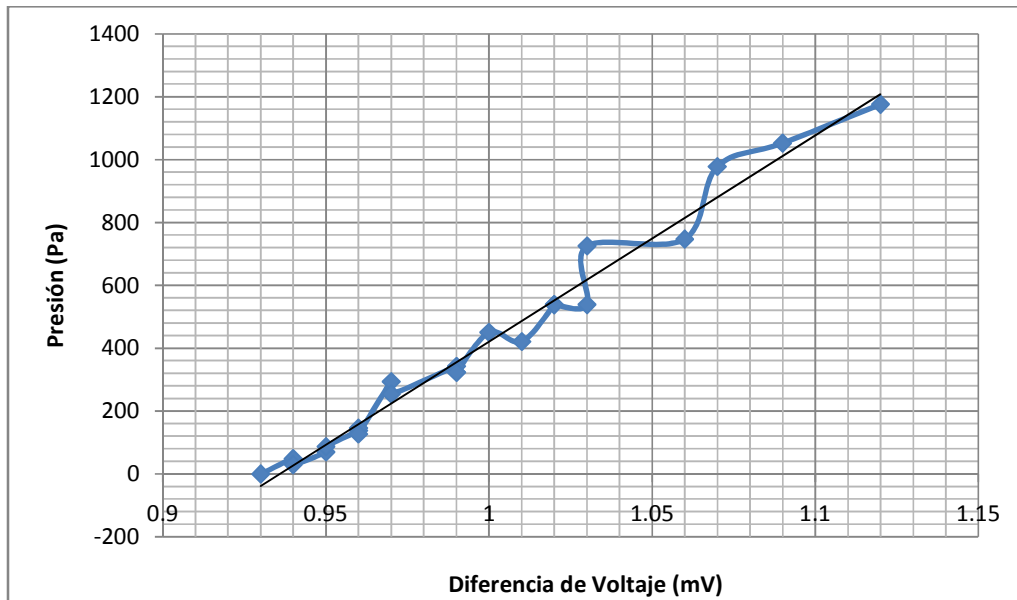
Por medio de estos datos se pudo calibrar el programa de control, para que este pudiera convertir cualquier valor obtenido en voltaje y convertirlo a un valor real de presión.

2. Pruebas en la torre de absorción. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla No. 15, en donde los primeros dos voltajes son los obtenidos de los sensores, se muestra la diferencia entre estos y la presión en Pascales que le corresponde. Se consiguió un factor de correlación R de 0.98965.

Tabla No. 15 Resultados con los sensores de presión en la torre de absorción

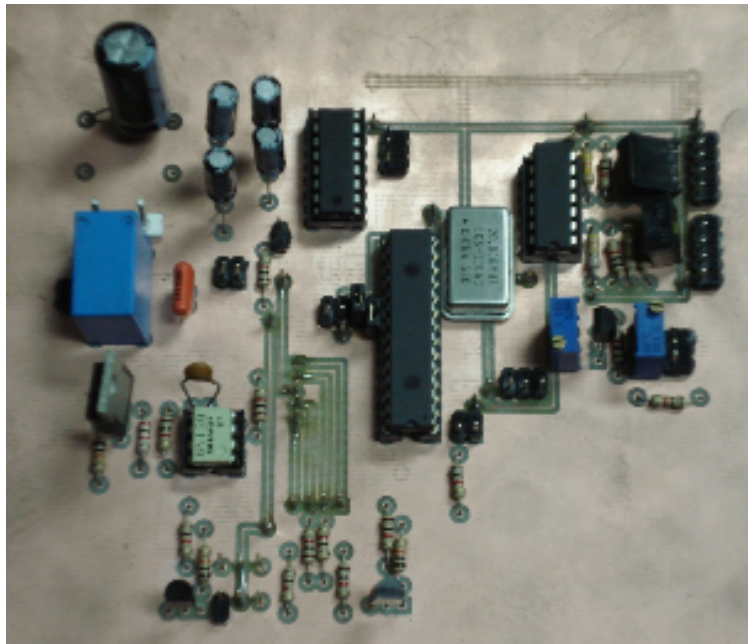
Voltaje 1 (mV)	Voltaje 2 (mV)	Diferencia (mV)	Presión (Pa)
1.56	0.63	0.93	0
1.62	0.68	0.94	49
1.61	0.67	0.94	29.5
1.61	0.66	0.95	70.4
1.64	0.69	0.95	87.2
1.6	0.64	0.96	138
1.64	0.68	0.96	147
1.68	0.72	0.96	127.4
1.66	0.69	0.97	294
1.66	0.69	0.97	254.8
1.66	0.67	0.99	343
1.73	0.74	0.99	323.4
1.69	0.99	0.99	323.4
1.72	0.72	1	450.8
1.78	0.77	1.01	421.4
1.72	0.7	1.02	539
1.72	0.77	1.02	539
1.75	0.72	1.03	539
1.8	0.77	1.03	725.2
1.86	0.8	1.06	747
1.77	0.7	1.07	978
1.8	0.71	1.09	1052
1.83	0.71	1.12	1176

Figura No. 110 Gráfica de voltaje respecto a presión



D. Circuito impreso

Figura No. 111 Circuito impreso con los componentes soldados



E. Instalación de válvulas y sensores

En las Figuras No. 112 y 113 se muestra la instalación de las válvulas para el control de flujo de agua y gas.

Figura No. 112 Válvula para el control del flujo de agua



Figura No. 113 Válvula para el control del flujo de gas



Figura No. 114 Adaptador para el sensor de presión de la parte superior de la torre

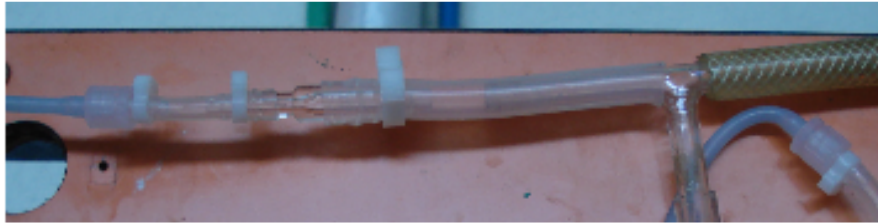


Figura No. 115 Adaptador para el sensor de presión de la parte inferior de la torre



F. Instalación de fuente de poder y panel de control

Figura No. 116 Fuente de poder instalada



Figura No. 117 Panel de control instalado



Figura No. 118 Entradas en el panel de control



VII. DISCUSIÓN

Se seleccionó el ancho de pulso para cada válvula de acuerdo a la sensibilidad que posee cada una, ya que con la misma cantidad de pulsos, pero con distinto tiempo se logran mover las dos válvulas desde totalmente cerrada a totalmente abierto. La válvula de control de flujo de gas tarda 6.6 segundos en su movimiento de extremo a extremo, la válvula de control de flujo de agua tarda 19.4 segundos en realizar la misma acción.

Se introdujeron distintos flujos de aire a la válvula para observar el cambio que ejerce la presión sobre esta. En las gráficas obtenidas se puede observar que el cambio de flujo respecto a la apertura de la válvula es bastante lineal y más exacta si las medidas eran tomadas entre 80 y 250 litros/min para la prueba con flujo máximo de entrada, y entre 80 litros/min hasta 40 litros/min menos del flujo utilizado en las otras tres pruebas. Esto es debido a varios factores como lo son: que en los valores muy bajos el flujo realiza más esfuerzo en vencer la presión debido al flujo de retorno, donde se pierde flujo de salida. Además, el manómetro utilizado para realizar las mediciones ya no es muy exacto al momento de colocar las mediciones al llegar a su punto máximo, ya que posee muchas fluctuaciones.

En el programa elaborado, se colocaron los resultados de la primera prueba, ya que esto evita que al momento de utilizar la torre de absorción no se deba estar midiendo para colocar un flujo de entrada en el manómetro, si no que se pueda abrir totalmente la válvula manual y utilizar la válvula de precisión para colocar el flujo deseado.

Con las mediciones del flujo de agua, se realizó únicamente un tipo de prueba debido a que se posee una bomba de agua con una única salida de flujo, por lo que en la válvula se tendrá una entrada de flujo constante. Para medir el flujo de agua que pasa a través de la válvula, se tomó el tiempo de llenado de una cubeta

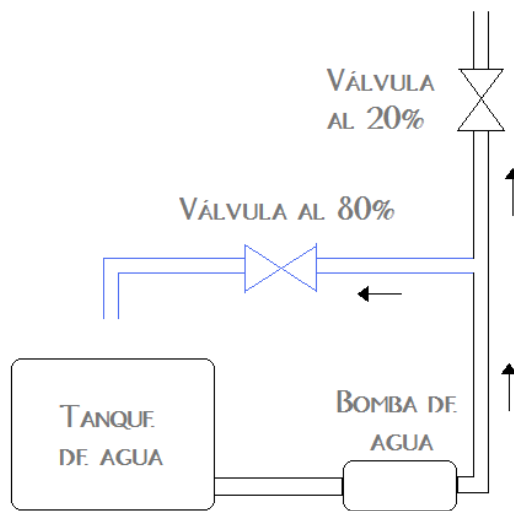
de 2 a 10 litros, es decir 8 litros en total. Se empezó a medir desde 2 litros para dar un tiempo de establecimiento a la bomba de agua y que se mantuviera constante el flujo de agua. La prueba se realizó con 8 litros de agua para poder tener una mayor precisión al obtener los datos.

Al observar la gráfica obtenida del flujo de agua en la Figura No. 105, se puede ver qué sucede el mismo efecto que con el aire. Al tener la válvula con un porcentaje de apertura bajo, la bomba de agua debe compensar la presión que se genera debido al poco flujo que se tiene, por lo que el flujo de salida de la válvula disminuye. Debido a que el flujo máximo que la bomba de agua posee no sobrepasa a el flujo máximo que permite la válvula, se observa que aproximadamente en un 45% de apertura se llega al máximo flujo de la bomba de agua por lo que cuando se incrementa el porcentaje de apertura de la válvula, el flujo será el mismo.

Debido a que la bomba de agua debe ejercer una mayor presión al momento que el porcentaje de apertura será muy pequeño, sería recomendable colocar un retorno de agua desde la salida del flujo de la bomba, antes de llegar a la válvula de precisión y que tome el flujo de regreso al tanque de agua pasando a través de otra válvula. Ésta se debería encontrar inversamente proporcional a la válvula de precisión, de manera que la bomba de agua se mantenga proporcionando un flujo constante a través de las dos válvulas. Se muestra un ejemplo en la Figura No. 119.

Al momento de realizar las primeras pruebas con los sensores de presión, se introdujeron únicamente cuatro valores debido a que el compresor de aire sólo permitía colocar este rango de presiones y no posee mediciones entre éstas.

Figura No. 119 Colocacion de la válvula para el flujo de retorno



Las pruebas realizadas con los sensores de presi3n en la torre de absorci3n no se obtuvo un coeficiente de linealidad muy cercano a uno, debido a que las alturas de la diferencia de presi3n fueron tomadas por observaci3n del man3metro, por lo que se pudo tener un factor de error.

La necesidad de realizar estas segundas pruebas fue debido a que los sensores de presi3n fueron calibrados con el rango máximo que estos poseían, para poder llegar a obtener mediciones de presi3n de hasta 60 kPa. Esta presi3n es mucho mayor a la que se logra en la torre de absorci3n, por lo que se redujo a 15 kPa aumentando la resoluci3n de los datos, para obtener una mejor retroalimentaci3n de estos valores al usuario.

Se obtuvo un proceso más eficiente, debido a que anteriormente se debían realizar calibraciones para controlar el flujo de agua y de gas, y con el nuevo sistema no se debe de realizar estas calibraciones. El usuario también puede observar los cambios de una manera más sencilla y guardar los datos obtenidos en un archivo de Excel, lo cual reduce el tiempo para la toma de datos.

El sistema no posee una nueva limitación, ya que se mantuvieron las mismas características que poseía la torre de absorción anteriormente. Si se desea manejar de forma manual posee la limitante que deben abrirse las válvulas totalmente por medio del sistema de control en la computadora para que todos los cálculos que se realicen se hagan de la misma forma en que se realizaban anteriormente sin la automatización.

El sistema posee la ventaja de que el usuario recibe una retroalimentación constante y precisa de los sensores colocados en la torre de absorción. Además el sistema de forma manual no posee una retroalimentación del porcentaje de humedad que se posee dentro de la torre.

Para la instalación de las válvulas, se utilizaron adaptadores de PVC para acoplarlos a la tubería de la torre de absorción. A la válvula del control de flujo de agua se le instaló una unión universal para poder quitar la válvula si en algún momento se requiere.

Debido a que los sensores de presión poseen un tubo de diámetro mucho menor a la tubería de unión con la torre de absorción, se colocaron reductores y adaptadores con abrazaderas para asegurarse de que el flujo llegara al sensor sin que se perdiera parte del flujo en fugas.

El sensor de humedad y de temperatura se colocaron en la parte superior de la torre por medio de una manguera que sale a un costado de la torre y hacia arriba de la torre a 15 cm de la parte máxima de la altura de la torre para evitar inundación en esta manguera.

Se obtuvo un programa con el cual se puede controlar el funcionamiento de la torre de absorción. Este posee una interfaz amigable para el usuario y con opciones de cambiar parámetros de apertura de las válvulas, visualización de los valores de los sensores, tomar y guardar datos en Excel, como otras opciones.

Se colocó un panel de control, en donde se encuentra la placa impresa. Se colocó de tal forma en que se pudiera desarmar y volver armar de una forma fácil, por si se es necesario.

Tercera Parte

I. CONCLUSIONES

- Mediante el uso de un microcontrolador PIC 18F4550, transistores BJT y relés, se pueden controlar dispositivos de corriente alterna que manejen 24 voltios y 771.5 mA, en este caso válvulas solenoides. Su importancia es debido a que un microcontrolador es más económico que otros dispositivos de control de AC (PLC, por ejemplo).
- La corriente que brinda un microcontrolador PIC 18F4550 no es suficiente para activar un relé, por tal razón se utilizó un circuito seguidor BJT para activarlo.
- Conforme se activan más válvulas solenoide a los sistemas del invernadero, el consumo de corriente es mayor, obteniendo un valor de 771.5mA AC cuando las 5 válvulas solenoide están encendidas.
- El sistema Mist instalado en el invernadero disminuye el parámetro de temperatura pero como consecuencia aumenta la humedad relativa.
- El sistema de Ventilación instalado en el invernadero disminuye los parámetros de humedad relativa y de temperatura. Su incidencia es mayor en el parámetro de humedad relativa.
- Se obtuvo una clave digital para un ingreso automatizado en el invernadero, por medio de una pantalla LCD, un teclado matricial y un receptor eléctrico.

- Se mejoró la bioseguridad del invernadero ya que se puede tener un control del personal que entra al invernadero.
- Se controló el flujo de agua y del gas de la entrada a la torre de absorción por medio de válvulas de precisión.
- Se obtuvo una retroalimentación al usuario de los flujos ya que posee una linealidad para el flujo de gas entre 70 a 250 litros/min y con el flujo de agua entre 1.5 a 15 litros/min.
- Se obtuvo mediciones de la temperatura dentro y fuera de la torre de absorción, el diferencial de presión respecto de la parte superior con la inferior y de la humedad en la parte superior.
- Se obtuvo un programa con el cual se posee el control sobre la torre de absorción y despliega las mediciones tomadas por medio de una interfaz visual.

II. RECOMENDACIONES

A. Recomendaciones en funcionamiento

- Los componentes pueden ser dañados por la electricidad estática, por lo cual es preferible no tocar los dispositivos que se encuentran dentro de la caja con la tarjeta impresa.
- Mantener una alimentación de 5 y 12 voltios para el funcionamiento óptimo del sistema.
- Colocar un retorno de agua con una válvula entre la bomba de agua y la válvula de precisión para mantener un flujo constante del agua.
- Mantener conectado a un UPS, tanto el sistema de control de la torre de absorción, como la clave digital del invernadero.

B. Recomendaciones para cambios futuros

- Se recomienda continuar con el proceso de remodelación y automatización del invernadero, cambiando las estructuras de las macetas principales.
- Cambiar el material con el cual está construido el techo y las ventanas, y sustituirlo por sarán.
- Se recomienda eliminar la estructura construida a la par del invernadero la cual se encuentra colocada donde está el extractor de aire, de tal forma que se mejore el sistema de ventilación.

- Colocar un rotámetro para tener mediciones más precisas de flujo en la entrada del flujo de agua.
- Colocar un sensor de presión después de cada válvula de precisión para tener un valor más exacto de presión inicial.
- Colocar una válvula en la entrada del aire comprimido y otra en la del CO_2 para regular la mezcla de ambas en la entrada de la torre de absorción.
- No colocar más de 2.5 voltios en la velocidad del control de la válvula (pin 4), debido a que se dañará el circuito interno de la válvula.
- No colocar más de 12 voltios en la fuente de poder y en la dirección de la válvula (pin 8 y 9), debido a que se dañará el circuito interno de la válvula.
- El sensor de humedad es sensible a la luz, y por ello se dejó recubierto. Para su buen funcionamiento, se recomienda que se mantenga así.
- La bomba de agua posee un circuito de aislamiento del microcontrolador, para no ocasionar daños a la tarjeta controladora, se recomienda mantener este circuito.
- Aun cuando el amplificador operacional que posee el sensor de presión puede soportar una variación de 30 voltios en su voltaje de alimentación, se recomienda que se mantenga de -5 a 5 voltios para la protección del microcontrolador.

III. BIBLIOGRAFÍA

1. L.Fallace, Biólogo, “Invernaderos de Guatemala”. [Entrevista]. Realizada el 10/09/08.
2. J. Alvarado, “Medición de parámetros atmosféricos y su conversión a información digital para su procesamiento”. Trabajo de Graduación, 1991, pp 1-30
3. M. Cotero, “Invernadero Con Microclima Controlado Electrónicamente,” Trabajo de Graduación, 2004, pp 19-22
4. García, Daniel. 2001. “Invernaderos”. La Paz. México. [Documento en línea]. Disponible en URL: www.agronet.com.mx
5. Infoagro. 2002. “Types of Greenhouses”. España. [Documento en línea]. Disponible en URL: www.infoagro.com
6. Laurent, Olivier. 2004. “Guía práctica para el cultivo en invernadero”. *Nieves Nueno*. Barcelona, De Vecchi. 126 págs.
7. A.K. Stoner. Commercial production of greenhouse tomatoes. Washington U.S. *Agricultural Research Service*, 1971. Paginas Totales; 32
8. Mundi-Prensa. El cultivo del tomate. Madrid, 2001. Paginas Totales; 793.
9. INSIVUMEH, “Isotermas de temperatura promedio anual,” Atlas Climatológico, 2003.[Página Web]. Accesible en: http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm. [Visitado el 08/09/08].

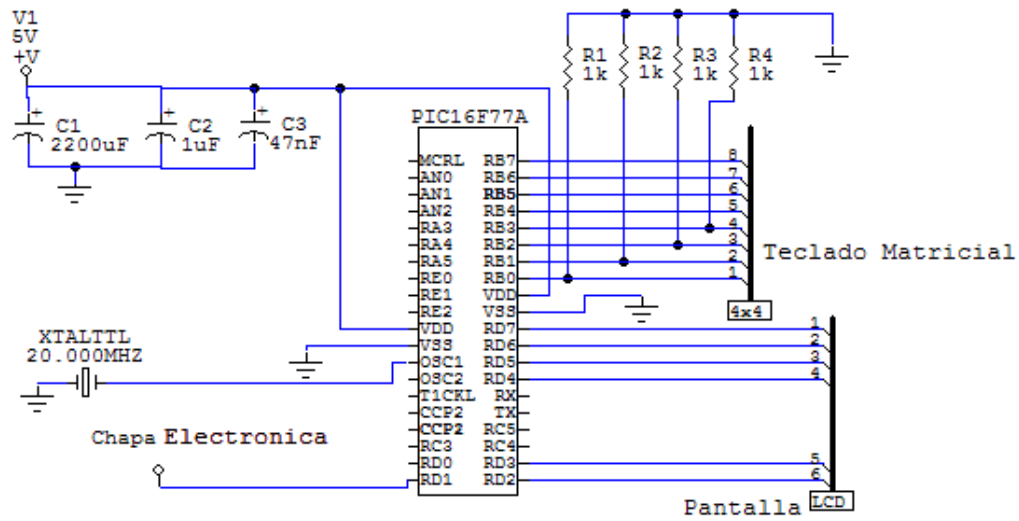
10. INSIVUMEH, "Niveles de humedad relativa promedio anual," Atlas Climatológico, 2003. [Página Web]. Accesible en:
http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm. [Visitado el 08/09/08].
11. Senamhi, "La Temperatura," 2006. [PDF]. Accesible en:
<http://www.senamhi.gob.pe/pdf/manualmeteo/cap3.pdf>. [Visitado el 08/09/08].
12. Parallax. "¿Qué es un microcontrolador?" Guía del Estudiante Versión 1.1. Versión en Castellano 1.1 2006. [Documento PDF] Disponible en URL: http://parallax.com/dl/docs/books/edu/wamv1_1spanish.pdf [2007]
13. SuperRobótica. "Teclado Matricial 4 x 3". Enero 2008. [Documento en línea]. Disponible en URL: <http://www.superrobotica.com/S310119.htm>
14. MikroElektronika. "EasyPIC4, User's Manual". MikroElektronika, Development Tools. Segunda Edición. 2007.
15. Treybal, Robert E. "OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA". Segunda edición. *McGraw-Hill*. Buenos Aires. 1980.
16. Skousen, Philip L. "Valve Handbook". Valtek International. Estados Unidos de América. *McGraw-Hill*. 1998.
17. Amat, J. "Robótica Industrial". Universidad Politécnica de Catalunya. *Marcombo Boixareu Editores*. Barcelona. 1986.

18. Jiménez, Javier C. "Introducción". Robótica. Universidad de Alicante. España. 2004. [Documento en línea]. Disponible en URL:
<http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/ asignaturas/ROB/optativos/Sensores/intro.html>
19. Microchip. "PIC18F2525/2620/4525/4620 Data Sheet". Microchip Technology Inc. DS39626B. 2004.
20. Fujikura America Inc. "FPM Series". Datasheet FPM-07PGM. 22E D. 2000.
21. Honeywell. "HIH-4000 Series". Datasheet HIH-4000. Estados Unidos. 2005.
22. Sharp. "6N139 High Sensitivity, High Speed OPIC Photocoupler". 6N139.

IV. APÉNDICES

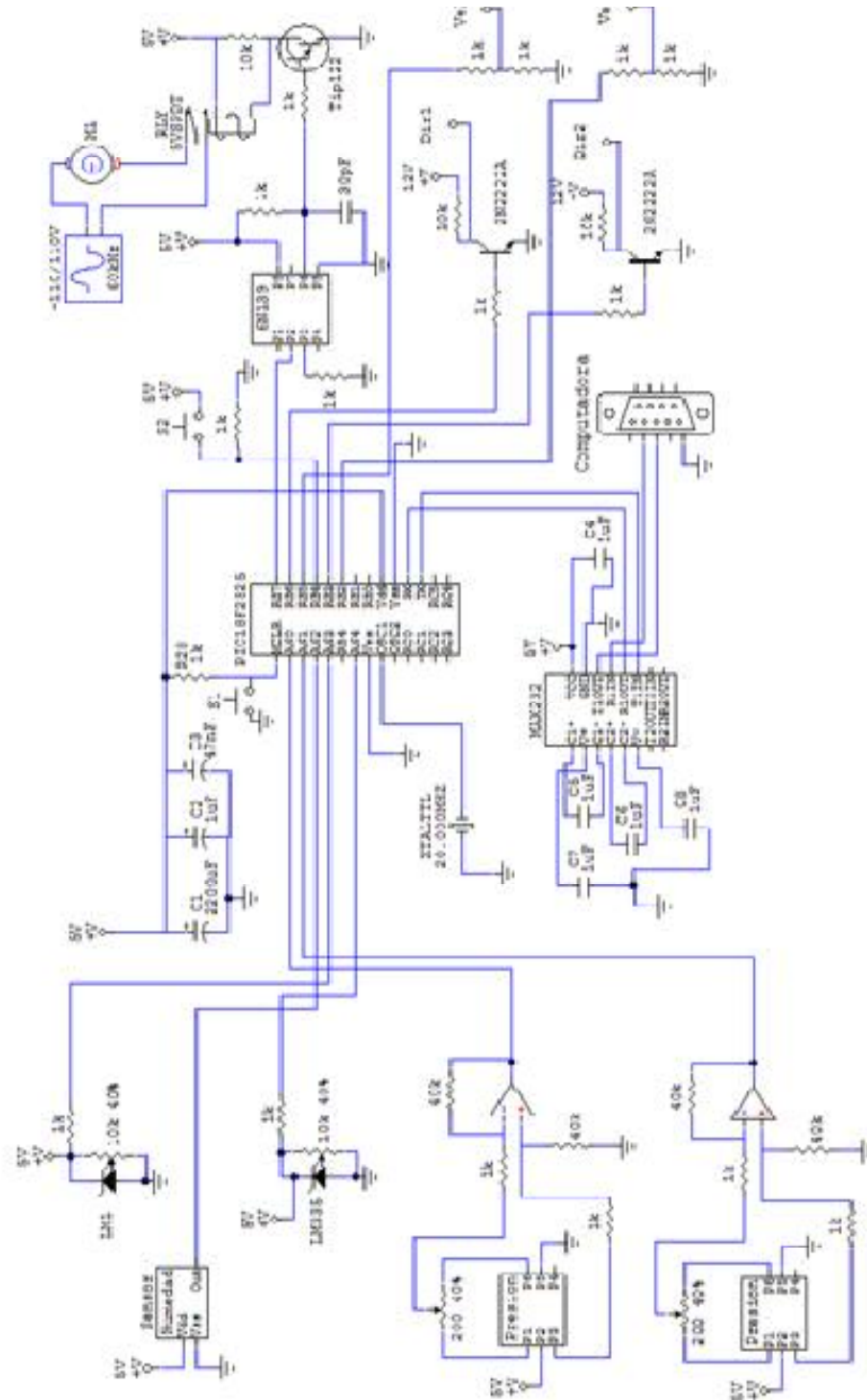
APÉNDICE A: DIAGRAMA COMPLETO DEL CIRCUITO DE LA TARJETA CONTROLADORA DE LA CLAVE DIGITAL

Figura No. 120 Circuito de la tarjeta controladora de la clave digital



APÉNDICE B: DIAGRAMA COMPLETO DEL CIRCUITO DE LA TARJETA CONTROLADORA DE LA TORRE DE ABSORCIÓN

Figura No. 121 Circuito de la tarjeta controladora de la torre de absorción



XIX. GLOSARIO

- DB-9:** Conector estándar de 9 pines (5 en la parte superior y 4 en la inferior), por lo general utilizado para el protocolo RS-232.
- Extractor de aire:** Tipo de ventilador que extrae el aire de un lugar en vez de circularlo.
- Fresadora:** máquina que quita metal mediante un cortador rotatorio, el cortador de la maquina (llamado fresa) no tiene ningún otro movimiento y consta de una serie de filos cortantes sobre una circunferencia.
- GPM:** “Galons Per Minute”, galones por minuto, es una unidad de media
- Humedad Relativa:** Cantidad de agua que posee el aire en un sector determinado, con respecto a la cantidad máxima de agua que podría tener el aire a temperaturas similares.
- Interfaz:** Zona de comunicación o acción de un sistema sobre otro.
- LED:** “Light Emmiting Diode”, diodo emisor de luz.
- mA:** Unidad de medida de corriente que corresponde a 1×10^{-3} amperios.
- MHz:** Unidad de medida de frecuencia que corresponde a 1×10^6 Hz.
- mils:** Unidad de medida de longitud que corresponde a 1×10^{-3} pulgadas.

- Mist:** sistema utilizado en invernadero para simular neblina dentro de éste para que bajen los parámetros de temperatura y aumente la humedad relativa.
- mV:** Unidad de medida de voltaje que corresponde a 1×10^{-3} voltios.
- Nebulizador:** elemento final del sistema Mist, el cual divide el agua en micropartículas y las expulsa al ambiente.
- Patógenos:** es cualquier microorganismo capaz de producir una enfermedad infecciosa.
- PIC:** “Programmable Integrated Circuit”, circuito integrado programable, estos pueden ser microcontroladores.
- psig:** “Pounds Per Square Inch Gauge”, libras por pulgada cuadrada manométrica, es una unidad de medida
- PVC:** es un polímero termoplástico. Material utilizado para la construcción de tuberías
- RS-232:** Protocolo estándar de transmisión serial.
- SitePlayer:** es un adaptador de Ethernet a RS232, que permite conectar a RS232 dispositivos utilizando protocolos TCP/IP.
- TTL:** “Transistor Transistor Logic”, lógica de transistor transistor. Es un tipo de componentes electrónicos los cuales se activan con una diferencia de potencial de cinco voltios.
- Válvula:** dispositivo encargado de controlar el flujo de materia por una

tubería.

ZigBee: protocolo de alto nivel utilizado para la comunicación inalámbrica cuyo objetivo es realizar la comunicación con bajo consumo de energía.